



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**MOŽNOSTI VYUŽITÍ VYČIŠTĚNÉ KOMUNÁLNÍ
ODPADNÍ VODY PRO ZÁVLAHU**

POSSIBILITIES OF WASTEWATER REUSE FOR IRRIGATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Kolajová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Hyánková, Ph.D

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Lucie Kolajová
Název	Možnosti využití vyčištěné komunální odpadní vody pro závlahu
Vedoucí práce	Ing. Eva Hyánková, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Aquarec Project, 2002. Work Package 2: Guideline for Quality Standards for Water Reuse in Europe. EVK1-CT-2002-00130

Navarro, I. et al., 2015. Wastewater Reuse for Irrigation — Practices, Safe Reuse and Perspectives, Irrigation and Drainage - Sustainable Strategies and Systems, Dr. Muhammad Salik Javaid (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/59361.

Zavadil J., Krátký M.: Městské odpadní vody – významný zdroj vody pro závlahy, Vodní hospodářství č. 5/2009, str. 168 – 172, květen 2009.

Janeček M.: Zmírnění nepříznivých přírodních a antropogenních vlivů na půdu a vodu, etapa 02 Alternativní zdroje závlahové vody, Výzkumný záměr Ministerstva zemědělství 0002704901, 2008.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Bakalářská práce se zaměří z větší části na literární rešerši v oblasti možností využití vyčištěné odpadní vody pro závlahu, a to se zaměřením na závlahu energetických a případně jiných zemědělských plodin. Druhá část práce bude spočívat ve spolupráci na odběru vzorků z výzkumné lokality v obci Dražovice, jejich rozborech a následném vyhodnocení. Rozsah jednotlivých prací bude upřesněn vedoucím bakalářské práce v průběhu jejího zpracování.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Eva Hyánková, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Bakalářská práce se z větší části skládá z rešerše, která se zabývá problematikou čištění odpadních vod a jejich opětovného využití na závlahu jak v České republice, tak i ve světě. Dopodrobna se zabývá jednotlivými druhy čištění a rozdíly převážně mezi přírodními a biologicko–mechanickými způsoby čištění a kvalitou jednotlivých druhů vyčištěných vod. Dále se zabývá jednotlivými způsoby využití těchto vod na závlahu, případně zasakování.

Druhá část této práce je zaměřena na praktický výzkum. Předmětem výzkumu je zjištění případného vlivu závlahy vyčištěnou komunální odpadní vodou na podzemní vody. Poloprovozní experimentální plochy jsou osety technickými plodinami a trávou, v rámci měření jsou zkoumány koncentrace CHSK a amoniakálního dusíku v prosakující vodě a vliv těchto parametrů na plodiny.

Klíčová slova: odpadní voda, čištění vod, zavlažovací systém, sucho

Bachelor thesis is based on waste water treatment system and treated waste water reuse for irrigation in the Czech Republic and in the world. Thesis describes individual types of waste water treatment and differences between vertical wetlands and biomechanical water treatment plants and different quality of effluent. It also deals with the individual ways of using this water for irrigation or infiltration.

The second part is focused on practical experiment. Subject of experiment is irrigation with treated waste water from constructed wetland in Drazovice village. Experimental fields are planted with technological crops and grass. Experiment investigates final concentration of COD and ammonia and their influent on the crops and groundwater.

Key words: waste water, water treatment, irrigation system, drought

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. 5. 2018

Lucie Kolajová

PODĚKOVÁNÍ

Mé poděkování patří vedoucí mé bakalářské práce Ing. Evě Hyánkové, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	CÍLE PRÁCE	9
3	ODPADNÍ VODY	10
3.1	DRUHY ODPADNÍCH VOD	10
3.1.1	SUROVÁ ODPADNÍ VODA.....	10
3.1.2	MECHANICKY PŘEDČIŠTĚNÁ ODPADNÍ VODA.....	12
3.1.3	VYČIŠTĚNÁ ODPADNÍ VODA.....	13
3.2	MOŽNOSTI ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD	14
3.3	VLASTNOSTI A KVALITA VYČIŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD.....	18
4	MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD PRO ZÁVLAHU.....	21
4.1	POZITIVA.....	21
4.2	NEGATIVA.....	21
4.3	ZÁVLAHA	23
4.3.1	DĚLENÍ A DRUHY ZAVLAŽOVACÍCH SYSTÉMŮ	23
4.4	ZASAKOVÁNÍ	30
4.4.1	NÁVRH VSAKOVACÍHO PRVKU.....	31
4.4.2	VSAKOVACÍ PRVKY	31
4.4.3	VYJÁDŘENÍ OSOBY S ODBORNOU ZPŮSOBILOSTÍ.....	32
5	PROBLEMATIKA VE SVĚTĚ	33
5.1	LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE.....	33
5.2	METODIKY WHO	33
5.2.1	ZEMĚDĚLSTVÍ	34
5.2.2	AKVAKULTURA.....	34
5.3	SOUČASNÝ STAV VE SVĚTĚ.....	34

6	PROBLEMATIKA V ČESKÉ REPUBLICE	42
6.1	LEGISLATIVNÍ RÁMEC.....	42
6.2	VÝZKUMY PROVEDENÉ V ČESKÉ REPUBLICE	43
6.2.1	MĚLNÍK	43
6.2.2	DRAŽOVICE	44
6.3	ZÁVLAHA V ZEMĚDĚLSTVÍ	46
6.3.1	FYZIKÁLNÍ UKAZATELE	47
6.3.2	CHEMICKÉ UKAZATELE.....	48
6.3.3	BIOLOGICKÉ UKAZATELE	48
6.3.4	UKAZATELE RADIOAKTIVITY	48
6.3.5	VEGETAČNÍ ZKOUŠKY	48
6.3.6	ZÁSADY PRO NAVRHOVÁNÍ PODLE ČSN 75 7143.....	49
6.4	ENERGETICKÉ PLODINY	49
7	POLOPROVOZNÍ VÝZKUM ZÁVLAHY VYČIŠTĚNOU ODPADNÍ VODOU	51
7.1	LOKALITA	51
7.2	VODA POUŽITÁ PRO EXPERIMENT	52
7.3	METODIKA EXPERIMENTU	53
7.3.1	POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ	53
7.3.2	POPIS MĚŘENÍ	55
7.3.3	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ	56
8	ZÁVĚR	57
9	POUŽITÁ LITERATURA	58
10	SEZNAM OBRÁZKŮ	62
11	SEZNAM TABULEK	64

1 ÚVOD

Sucho je stav klimatu, který se může objevit kdekoli na světě. Je způsobeno nedostatkem atmosférických srážek. Každý obývaný kontinent čelí v různé míře zvyšující se poptávce na vodu. V některých zemích se v zemědělství a průmyslu spotřebuje až 80 % místních zásob. Při chronickém nadměrném využívání vodních zdrojů je pouze otázkou času, několika bezdeštných období nebo špatných manažerských rozhodnutí, aby se region dostal do krize. Se suchem dlouhodobě bojuje většina afrických států, Blízký východ a v Evropě nejvíce Středomoří.

Nedostatek srážek sebou nese řadu rizik. Sloučením faktorů jako jsou chudoba, nedostatečné znalosti či nevhodné využívání půdy se ještě zvyšuje zranitelnost vůči suchu. Nedostatek vody má za následek špatnou kvalitu nebo dokonce nouzi o potraviny. Všechny tyto okolnosti mají vliv na zdraví obyvatelstva, mohou zvýšit nemocnost a v krajních případech způsobit i smrt.^{1 2}

Srážky jsou čím dál více nespolehlivým zdrojem, je tedy nutné zaměřit se na alternativní zdroje. S celosvětově nejlepším vývojem v oblasti šetření, recyklace a opětovného využití odpadních vod se můžeme setkat v Izraeli, který by měl být inspirací pro ostatní státy, včetně České republiky.

V České republice se také stále více začínají skloňovat témata jako jsou sucho a nedostatek vody. Vlivem klimatických změn dochází v posledních letech k výraznému kolísání zásoby vody v krajině, a tudíž i vody využitelné na závlahu. Tyto klimatické změny pociťují lidé, jejichž hlavním zdrojem pitné vody je voda studniční, které je díky klesající hladině spodní vody nedostatek. Dále se nedostatek srážek velmi podepisuje na zemědělství, které se potýká s nedostatkem závlahových vod. Jedním z řešení nedostatku závlahových vod je částečná náhrada srážkových vod vodami, které prošly vyčištěním v čistírně odpadních vod. U nás není tento způsob zatím příliš rozšířen ani dostatečně legislativně ošetřen.

¹ Drought | World Meteorological Organization. [online]. Copyright © 2018 World Meteorological Organization [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/water/drought>

² A Global Tour of 7 Recent Droughts | World Resources Institute. World Resources Institute | Making Big Ideas Happen [online]. Dostupné z: <http://www.wri.org/blog/2015/06/global-tour-7-recent-droughts>

2 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je zpracovat rešerši na téma znovuvyužití vyčištěných odpadních vod a poukázat na možné varianty, jak reagovat na klimatické změny a jejich vliv v oblasti závlah, zasakování a nakládání s odpadními vodami.

Dalším cílem je zhodnotit alternativní způsoby získávání vody na závlahu jak z technického, tak z legislativního hlediska, vhodnost a účinnost různých způsobů čištění odpadních vod, a to nejen v České republice, ale i v celém světě. Práce popisuje také jednotlivé druhy zavlažovacích systémů. Z administrativního hlediska je využívání vyčištěných vod v České republice i přes provedené výzkumy a kladné hygienické výsledky měření stále velice obtížné, je tedy potřeba se těmito tématy zabývat do hloubky a je nutná veřejná osvěta.

Předmětem praktické části je výzkum na experimentálních polích v Dražovicích, která jsou zavlažována vyčištěnou odpadní vodou z kořenové čistírny odpadních vod. Cílem výzkumu je posouzení vlivu závlahové vody na technické plodiny.

3 ODPADNÍ VODY

„Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních, a dále jsou odpadními vodami průsakové vody ze skládek odpadu.“³

3.1 DRUHY ODPADNÍCH VOD

3.1.1 SUROVÁ ODPADNÍ VODA

PODLE PŮVODU

SPLAŠKOVÁ

Odpadní vody pocházející z domácností (kuchyně, koupelny, prádelny, WC) a vody z občanské technické vybavenosti.

INFEKČNÍ

Odpadní vody z infekčních oddělení nemocnic, mikrobiologických laboratoří a z výroben očkovacích látek.⁴

PRŮMYSLOVÉ A ZE ZEMĚDĚLSTVÍ

Podle látek způsobujících znečištění se dělí na převážně anorganickou, nebo převážně organickou. Anorganické látky se ve vodě vyskytují jako rozpustné a nerozpustné a mohou mít i toxické účinky.

³ Zákon č. 254/2001 Sb.: Ochrana jakosti vod § 38 [online]. In: . 2001 [cit. 2018-05-13]. DOI: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.

⁴ ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

Organické látky se dělí na čtyři skupiny:

- Netoxické a biologicky rozložitelné,
- Netoxické a biologicky těžko rozložitelné,
- Toxické a biologicky rozložitelné,
- Toxické a biologicky těžko rozložitelné. ⁵

DEŠŤOVÉ

Jedná se o veškeré srážky včetně vod z tání sněhu a ledu. Dešťové vody mohou být po styku s povrchem znečištěné, pokud odtékají z povrchů jako jsou komunikace nebo průmyslové a zemědělské areály. Ale mohou být i neznečištěné, odtékají-li z pěších zón, parků, zahrad a dalších míst ne příliš zatížených znečištěním, tyto vody pak není nutné odvádět do čistírny odpadních vod. ⁶

PODLE KVALITY

ČERSTVÁ

Voda, ve které neprobíhají žádné anaerobní procesy.

NAHNILÁ

Voda, ve které již začaly probíhat anaerobní procesy, které způsobují závadnost vody.

INFEKČNÍ

Obsah choroboplodných zárodků je tak vysoký, že je potřeba provést speciální opatření před vypuštěním do veřejné kanalizace.

RADIOAKTIVNÍ

Voda, u které došlo ke kontaminaci radioaktivními látkami.

⁵ ŽABIČKA, Zdeněk a Jakub VRÁNA. Zdravotnětechnické instalace. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-139-7.

⁶ ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

TOXICKÁ

Obsahuje látky, které mají již při nízkých koncentracích velmi negativní až toxický vliv na živé organismy.⁷

3.1.2 MECHANICKY PŘEDČIŠTĚNÁ ODPADNÍ VODA

Mechanický neboli primární stupeň čištění odpadních vod se zabývá odstraněním makroskopických částic z odpadní vody. Z hlediska technologie čištění se jedná o poměrně jednoduché procesy založené na jevech, jako jsou sedimentace (lapáky písku, lapáky šterku), flotace (lapáky tuků a olejů) nebo cezení (česle, síta). Při návrhu těchto zařízení je nutno zohlednit druh, charakter a stav stokové sítě.

Česle dělíme na hrubé česle, ty se skládají z vertikálních nebo nakloněných ocelových tyčí (česlic) umístěných ve stejných vzdálenostech (průlinách) napříč žlabem, kterým protéká odpadní voda. Dále pak jemné česle, spádová síta, samočistící česle, které jsou složeny ze segmentů. Segmenty vytváří nekonečný pás síta s průlinami, jejichž velikost je určena šíří segmentu. Pás se otáčí, zubová část segmentů vynáší zachycené shrabky a v horní části pásu, která je nad vodou, při změně pohybu dolů padají shrabky do kontejneru.

Lapáky písku jsou zařízení, které slouží k zachytávání písku a minerálních částic s takovou účinností, aby byla zajištěna ochrana dalších objektů a zařízení čistírny. Lapák písku je navržen tak, aby byly zachyceny částice do velikosti zrn 0,2 až 0,25 mm. Dělíme je podle směru průtoku na horizontální a vertikální.⁸

⁷ ŽABIČKA, Zdeněk a Jakub VRÁNA. Zdravotnětechnické instalace. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-139-7.

⁸ (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD*. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)

3.1.3 VYČIŠTĚNÁ ODPADNÍ VODA

Povolené hodnoty pro vypouštění vyčištěné odpadní vody stanovuje NV 401/2015 Sb.⁹

KAT.ČOV (EO)	CHSK _{Cr}		BSK ₅		NL		N-NH ₄		N _{CELK}		P _{CELK}	
	p	m	P	m	p	m	p	m	p	m	p	m
<500	150	220	40	80	50	80	-	-	-	-	-	-
500-2000	125	180	30	60	40	70	20	40	-	-	-	-
2001-10000	120	170	25	50	30	60	15	30	-	-	3	8
10001-100000	90	130	20	40	25	50	-	-	15	30	2	6
>10000	75	125	15	30	20	40	-	-	10	20	1	3

Tabulka 1 - Emisní standardy NV 401/2015 Sb.

Ukazatele a hodnoty přípustného znečištění odpadních vod a náležitosti povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních stanovuje NV 57/2016 Sb.

Ukazatele a emisní standardy pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci.

Velikostní kategorie (EO)*	"m" (mg/l)				
	CHSK _{Cr}	BSK ₅	N-NH ₄ ⁺	NL	N _{celk}
< 10	150	40	20	30	x
X.50	150	40	x	30	30
> 50	130	30	x	30	20

Tabulka 2 - Emisní standardy NV 57/2016 Sb.

⁹ Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: Zákony pro lidi.cz [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401#f5732569>

Ukazatele a emisní standardy mikrobiologického znečištění pro odpadní vody vypouštěné z jednotlivých staveb pro bydlení a rodinnou rekreaci a z jednotlivých staveb poskytujících ubytovací služby.¹⁰

"m"*** (KTJ/100 ml)	
Escherichia coli	Enterokoky
150	100

Tabulka 3 - Emisní standardy – mikrobiologické znečištění

3.2 MOŽNOSTI ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

PŘÍRODNÍ ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ

UMĚLÉ MOKŘADY (VEGETAČNÍ KOŘENOVÉ ČISTÍRNY)

Vegetační kořenové čistírny neboli půdní filtry s mokřadní vegetací se dělí podle směru proudění na horizontální a vertikální a podle místa průtoku na povrchové a podpovrchové.

Nejčastěji používanými rostlinami v kořenových čistírnách bývají rákos obecný (*Phragmites australis*), zblochan vodní (*Glyceria maxima*), chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*).¹¹

Kořenová čistírna odpadních vod se skládá z několika zařízení zapojených v sérii, která pracují jako celek. Soustava se skládá z mechanického stupně čištění, hlavního stupně čištění a dočištění, které je potřeba pouze v případě nutnosti odstranění celkového dusíku.

Mechanické předčištění obsahuje několik zařízení, které postupně z protékající odpadní vody odstraňují plovoucí částice. Voda odtékající z mechanického stupně by měla obsahovat co možná nejnížší koncentrace nerozpuštěných látek, což napomáhá bezporuchovému provozu filtračního

¹⁰ Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. In: <i>Zákony pro lidi.cz</i> [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57#f5752816>

¹¹ ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.

pole. Další součástí mechanického stupně čištění je odlehčovací komora, která zajišťuje, aby nedošlo k přetížení usazovací nádrže nebo septiku. Bývá řazena na jednotné kanalizační síti těsně před česlemi, lapákem písku a usazovací nádrží.

Technologie kořenových čistíren založená na principu horizontálních filtrů je na území České republiky používána a navrhována téměř ve všech případech. Mezi hlavní důvody jejich rozšíření patří zejména jednoduchost návrhu a realizace. Tento druh filtru je ale velice náročný na plochu.

Jelikož z podstaty vegetačních čistíren představuje filtrační prostředí systém, v němž probíhají složité procesy, vyžadující při odstraňování amoniaku a organického znečištění vysokou dotaci kyslíku, je více vhodné použít pulzně napouštěný a zároveň skrápěný vertikální filtr s vegetací.¹²

Mezi další přírodní způsoby čištění patří přírodní mokřady, malé vodní nádrže, infiltrační zařízení a přerónové pásy, využití melioračních odpadů, kanálů a vodních toků, bioreaktory a akvakultury.¹³

VÍCESTUPŇOVÉ ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Tyto způsoby čištění se skládají z primárního, sekundárního a v určitých případech terciálního stupně. Primární stupeň neboli mechanické předčištění je popsáno v kapitole Mechanicky předčištěná odpadní voda.

Základním principem všech biologických čistírenských procesů jsou biochemické oxidačně redukční reakce. Rozhodujícím faktorem pro rozdělení těchto reakcí je konečný akceptor elektronů a s tím související hladiny oxidačně-redukčních potenciálů.

¹² KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ*. Vysoké učení technické v Brně, 2015.

¹³ ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.

Biologické čištění odpadních vod je založeno na principu přeměny organického znečištění a dalších biogenních prvků, obsažených v odpadních vodách, především na flokulující usaditelnou biomasu a anorganickou hmotu, usaditelnou v dosazovacích nádržích.

Primární sedimentace je nejčastěji používaným procesem předřazeným biologickému čištění odpadních vod, jelikož je nejefektivnějším způsobem zachycení usaditelných látek, zatímco při biologickém čištění jsou odstraňovány organické látky ve formě koloidů nebo v rozpuštěné formě. Některé technologické sestavy biologického čištění odpadních vod mohou být navrženy bez primární sedimentace, což je velmi časté u malých zdrojů znečištění a u procesů s aerobní stabilizací kalu.¹⁴

DOMOVNÍ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Domovní čistírny odpadních vod jsou určeny pro čištění převážně splaškových vod z jednotlivých objektů v rozmezí kapacit 2–30 EO (rodinné domy, obytné budovy, skupiny domů, hotely, restaurace, rekreační zařízení atd.), které nemají možnost připojení na klasickou kanalizaci ústící do centrální čistírny. Plně nahrazují septiky a žumpy jak po stránce účinnosti, tak po stránce nákladové a umožňují čistit odpadní vodu, která vzniká v domácnostech při běžném provozu ze sociálního zařízení, koupelen, kuchyní, ale také z automatické pračky, myčky na nádobí atd. Pouze kuchyňské drtiče odpadu nelze doporučit v kombinaci s domovní čistírnou, neboť jejich používáním dochází k enormnímu zvýšení látkového zatížení čistírny. Vyčištěná odpadní voda dosahuje takové kvality, že je možné ji vypouštět do vodoteče, dešťové kanalizace, vsakovat do podloží, případně akumulovat tuto vyčištěnou vodu do jímky a použít ji na zavlažování. Konkrétní způsob vypouštění odpadních vod schvaluje místní vodohospodářský úřad.

Čistírna má vlastní bioreaktor, který integruje aktivační i separační část v jediné nádrži. Jedná se o biologicko-aerobní způsob čištění. V čistícím

¹⁴ (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD*. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)

procesu dochází k odstraňování amoniakálního znečištění, a také k odstraňování dusičnanového znečištění. Aktivace pracuje s velmi nízkým zatížením kalu a k oddělování vyčištěné vody od aktivovaného kalu slouží fluidní filtr v separační části, vytvořený tzv. kalovým mrakem. Po odseparování odtéká vyčištěná voda přepadem a aktivovaný kal je díky recirkulaci vrácen zpět na začátek čistícího procesu. U těchto čistíren není nutná žádná předřazená vyrovnávací nádrž, ani ke své funkci nepotřebují žádné dávkování chemikálií nebo přitápění v zimních měsících pro zachování čistící účinnosti. K provozu čistíren je zapotřebí pouze malé membránové dmychadlo vhánějící stlačený vzduch do rozvodnice, která následně reguluje přísun kyslíku do jednotlivých technologických částí a současně zajišťuje recirkulaci aktivační směsi. Chod membránového dmychadla lze regulovat pomocí mikroprocesorové řídicí jednotky, která umožňuje čistírně pracovat v různých režimech podle skutečného zatížení.¹⁵

SEPTIK

Slouží k částečnému čištění odpadních vod převážně z rodinných a bytových domů. Jedná se o homogenní, nebo lehčené plastové nádrže, které se vyrábí pomocí svařování jednotlivých konstrukčních prvků a desek z celistvého polypropylenu, polyetylenu a jejich kopolymerů. Což zapříčiňuje, že jsou jímky velmi odolné, a to nejen proti agresivní vodě. Jejich výhodou je nízká hmotnost, snadná manipulace a také snadná montáž. Pomocí vnitřního systému dochází k oddělení pevné a tekuté složky odpadních vod. Septik tak slouží hlavně k zachycení nerozpuštěných látek a díky aerobním procesům dojde zároveň ke snížení organického znečištění u vícekomorových septiků obvykle o cca 30 %, hodnota závisí na době zdržení. Takto částečně vyčištěnou vodu nelze dle české legislativy vypouštět do vod podzemních ani povrchových, je nutné vodu dočistit v domovní čistírně odpadních vod, nebo v zemním pískovém filtru. Plastové nádrže se vyrábí jako typizované nebo na míru. Plastové nádrže se standardně vyrábí nepochozí s plastovým poklopem, nebo pochozí s poklopem litinovým. Celý

¹⁵Domovní čističky odpadních vod. Domovní čističky odpadních vod [online]. Copyright © 2012, COMPNET [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <http://www.usbf.cz/>

objekt musí být též zdravotně nezávadný a vodotěsný podle normy ČSN 75 0905 Zkoušky vodotěsnosti vodárenských a kanalizačních nádrží.¹⁶

3.3 VLASTNOSTI A KVALITA VYČIŠTĚNÝCH ODPADNÍCH VOD

Mezi sledované ukazatele vyčištěné vody patří CHSK, BSK₅, nerozpuštěné látky, amoniakální dusík, N_{celk} , P_{celk} , koncentrace těchto látek jsou dány nařízením vlády č. 23/2011 Sb., resp. přílohou č.1, tabulkou 1a: Emisní standardy.

CHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU ($CHSK_{Cr}$, $CHSK_{Mn}$)

Oproti BSK udává spotřebu kyslíku potřebnou k oxidaci všech látek, nejen těch biologicky odlučitelných. Jde o uzanční stanovení míry znečištění vody organickými a oxidovatelnými anorganickými látkami.

Při stanovení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) vzorku vody se provádí oxidace látek v ní obsažených, působením oxidujících sloučenin manganistanu draselného ($KMnO_4$) nebo dichromanu draselného ($K_2Cr_2O_7$). Reakce probíhají v prostředí zředěné kyseliny sírové za teploty bodu varu roztoku. CHSK se stanoví ze spotřeby oxidující látky, ale vyjadřuje se v ekvivalentech odpovídajících oxidaci kyslíkem. Výsledek stanovení CHSK oběma uvedenými metodami je zpravidla odlišný, a proto je nutné uvádět, jaká metoda byla použita – $CHSK_{Cr}$ a $CHSK_{Mn}$. Hodnoty $CHSK_{Cr}$ bývají vyšší než $CHSK_{Mn}$, neboť $K_2Cr_2O_7$ je v podmínkách stanovení silnějším oxidovadlem než $KMnO_4$. Hodnota $CHSK_{Cr}$ se často blíží hodnotě teoretické spotřeby kyslíku. $CHSK_{Cr}$ se používá pro stanovení všech druhů vod, včetně odpadních, kdežto $CHSK_{Mn}$ je používáno jen při analýze vod přírodních a pitných. Při stanovení CHSK dochází nejen k oxidaci organických látek, ale i některých látek anorganických (Fe^{2+} , NO_2^- aj.), jejichž přítomnost zkresluje výpovědní hodnotu CHSK jako míru obsahu organických sloučenin. Proto je třeba anorganické oxidovatelné látky eliminovat.

¹⁶ Septik, septiky, plastové nádrže | ASIO.cz. Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz [online]. Copyright © 2011 [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-pp-septik-er-eo>

BIOCHEMICKÁ SPOTŘEBA KYSLÍKU (BSK₅)

Oxidaci organických látek lze uskutečnit činností aerobních bakterií, které oxidují organické látky vzdušným kyslíkem. Spotřeba kyslíku ve vzorku za standardních podmínek je mírou obsahu organických, biologicky rozložitelných látek a částečně i některých anorganických sloučenin neboli kolik kyslíku je potřeba k oxidaci biologicky odbouratelných látek obsažených ve vodě.

Stanovení BSK₅ spočívá ve vyhodnocení úbytku rozpuštěného kyslíku ve vzorku za 5 dní při teplotě 20°C. Vzorek se dle potřeby ředí destilovanou vodou s přídavkem solí a živin, nasycená vzduchem. Inkubace se provádí ve lahvích zcela naplněných naředěnou zkoušenou vodou za nepřístupu vzduchu, aby bakterie měly k dispozici jen kyslík obsažený ve vodě. Lahve jsou umístěny ve tmě, aby se zabránilo nežádoucímu rozvoji řas. Pro zabránění mikrobiální oxidace amoniaku se přidává vhodný inhibitor tohoto procesu, obvykle allylthiomocovina. BSK₅ se používá při hodnocení kvality povrchových a odpadních vod. Bakterie, které biochemický děj podmiňují, jsou v těchto vodách přítomny. Jen při analýze některých průmyslových odpadních vod je třeba provést naočkování, obvykle aktivovaným kalem.¹⁷

NEROZPUŠTĚNÉ LÁTKY (NL)

Jsou tvořeny částicemi prachu, písku, popílku a posypového materiálu. Do dešťových vod se dostávají buď přímo z atmosféry nebo splachem z povrchu vozovek, zpevněných i nezpevněných částí komunikací, uvolňováním z pneumatik a z podvozků. Dešťová voda odváděná ze střech je znečištěna různými částicemi, v nichž jsou z velké části zastoupeny těžké kovy. V závislosti na velikosti částic vznikají v dešťové vodě suspenze, ve frakci pod 150 mm je vázáno více než 90 % těžkých kovů.¹⁸

¹⁷ MALÁ, Jitka. *CHEMIE A TECHNOLOGIE VODY: MODUL M01 CHEMIE PŘÍRODNÍCH A PITNÝCH VOD*. 2016. Vysoké učení technické v Brně.

¹⁸ (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 1 STOKOVÁNÍ*. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)

AMONIAKÁLNÍ DUSÍK ($N-NH_4^+$)

Kanalizačním systémem přitéká na čistírnu amoniakální dusík po předchozím rozkladu močoviny. Podle množství balastních vod, podle druhu kanalizace a spotřeby vody se mohou koncentrace amoniakálního dusíku na přítoku výrazně lišit.

DUSÍK (N_{celk})

Celkový dusík je směs organicky a anorganicky vázaného dusíku v rozpuštěné i nerozpuštěné formě. Obsah N_{celk} ve vodě je dán součtem koncentrací dusíku všech dusíkatých sloučenin (tzn. NH_3 , NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- a N_{org}) obsažených ve vodě. Ve splaškových vodách se pohybuje průměrný obsah N_{celk} 12 g na osobu a den. V odpadních vodách a v odtocích z čistíren odpadních vod se sleduje hmotnostní koncentrace celkového dusíku pro zjištění dusíkové bilance při vypouštění odpadních vod do vod povrchových při stanovení poplatků za jejich vypouštění.¹⁹

FOSFOR (P_{celk})

Jsou společně s dusíkem (N) označovány za nutrienty. Oba prvky stimulují biochemické procesy, tvorbu buněčné hmoty, podporují eutrofizaci a jedná se o růst a množení mikroorganismů, řas i vyšších rostlin. Pokud se ve stojaté vodě v krajině vyskytuje zvýšená koncentrace nutrientů ve vodě, přemnoží se jednobuněčné zelené řasy a sinice, které během sezónního cyklu klesají ke dnu nádrže, kde se rozkládají a způsobují tímto sekundární znečištění. Zároveň svou přítomností ve vodě způsobují zvýšenou potřebu kyslíku na jejich rozklad, hodnota BSK_5 v takovýchto vodách se tedy může silně navýšit.²⁰

¹⁹ PITTER, P. Hydrochemie. 4. přepracované vydání. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9

²⁰ KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. *Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ*. Vysoké učení technické v Brně, 2015.

4 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍCH VOD PRO ZÁVLAHU

4.1 POZITIVA

V současnosti, kdy je stále větší nedostatek dešťových a povrchových vod využitelných na závlahu, se stává odpadní voda levným, a v suchých oblastech často jediným, zdrojem vody pro závlahu. Čistící účinek půdního prostředí často převyšuje průměrnou čistící schopnost umělých čistíren. Při závlaze dochází k výraznému odstranění bakteriálního znečištění, a také odbourávání dusíku a fosforu, což později zamezuje eutrofizaci vodních toků. Organické látky, které odpadní voda obsahuje, způsobují zvyšování obsahu humusu v půdě, což působí velmi pozitivně na úrodnost půd.

4.2 NEGATIVA

Tyto závlahy musí být navrženy v příznivých klimatických, pedologických, agronomických a hydrogeologických podmínkách, kde je pro závlahu dostatečné množství vhodných pozemků, dostupná vzdálenost zdroje vody, dostatečná tloušťka půdního filtru a nehrozí tedy vlivem závlahy negativní ovlivnění krajiny, ovzduší, rostlin nebo kvality podzemní a povrchové vody.²¹

PATOGENY

Mezi rizika využívání odpadní nebo vyčištěné odpadní vody je přítomnost patogenních organismů mezi které patří *Escherichia coli*, *Enterokok* nebo *Salmonella*. Vyšší koncentrace těchto organismů indikuje fekální znečištění z trávicího traktu teplokrevných živočichů včetně člověka. Kontaminovaná voda může způsobit různé zdravotní problémy jako jsou průjem, nevolnost a zvracení.

²¹ ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.

LISTERIA MONOCYTOGENES

Je grampozitivní tyčinkovitá bakterie nacházející se v přírodě, způsobuje nemoci u zvířat i lidí. Nemoc primárně postihuje citlivější jedince, jako jsou těhotné ženy, osoby se slabší imunitou, starší lidi nebo novorozence. Jednou z nejdůležitějších vlastností této bakterie je její odolnost vůči prostředí, pH 4,5 - 9, teplota 0 až 45 ° C. Tato bakterie může přežít po dlouhou dobu v půdě nebo v plodině a během tohoto období neztrácí svou virulenci. Do organismu lidí nebo zvířat se *Listeria* dostává požitím kontaminovaných potravin nebo vody.

SALMONELLA

Je rod gramnegativních baktérií z čeledi Enterobacteriaceae, jehož zástupci způsobují onemocnění člověka a zvířat. Jedná se o fakultativně anaerobní, nesporotvorné, většinou pohyblivé, rychle rostoucí bakterie, nenáročné na podmínky. Mezi nejvýznamnější onemocnění člověka způsobené salmonelami patří břišní tyfus, břišní paratyfus a salmonelóza z potravin. *Salmonella* zahrnuje více než 2500 patogenních sérotypů. Je všudypřítomná v životním prostředí a běžně se vyskytuje ve vodě, potravinách a jiných materiálech. Do lidského organismu se dostane kontaminovanou vodou nebo potravinami.

KOLIFORMNÍ BAKTERIE

Escherichia coli je gramnegativní fakultativně anaerobní spory netvořící tyčinkovitá bakterie pohybující se pomocí bičíků. Spadá pod čeleď Enterobacteriaceae, jež také zahrnuje mnoho patogenních rodů mikroorganismů. *E. coli* patří ke střevní mikrofloře teplokrevných živočichů, včetně člověka. Z tohoto důvodu je její přítomnost v pitné vodě indikátorem fekálního znečištění. Fekální a celkově koliformní bakterie jsou považovány

za parametr indexu patogenních mikroorganismů, ale v poslední době byla tato role zpochybněna kvůli její schopnosti růst v různých vodách.²²

ZASOLOVÁNÍ PŮD

K dalším nepříznivým vlivům vyčištěné odpadní vody na závlahu patří zasolování půd. Jedná se o zvýšenou akumulaci rozpustných solí v půdě. Přírozeně se tento jev vyskytuje v aridním prostředí a je spojen s vyšším obsahem solí v půdním roztoku, podzemních vodách, závlahové vodě či průmyslových hnojivech. Zdrojem solí jsou nejčastěji tyto anionty (SO_4^{2-} , Cl^- , CO_3^{2-}) a kationty (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , v kyselých půdách Al^{3+} , Fe^{3+}). Při výstupu podzemních vod k povrchu půdy a následném vypařování dojde ke krystalizaci solí v půdě nebo na jejím povrchu. Dále může k zasolování docházet při zavlažování zemědělsky využívaných ploch vodou, která má vysoký obsah rozpuštěných látek. Voda se ze zavlažovaných oblastí odpařuje, ale soli a jiné látky zůstávají, což způsobuje zasolování půd. Vysoká salinita půdy a vysoký stupeň nasycení sorpčního komplexu sodíkem mohou značně ovlivnit fyzikálně-chemické, chemické a biologické vlastnosti půdy a tím snižovat její úrodnost.²³

4.3 ZÁVLAHA

Vhodnost odpadních vod na závlahu posuzujeme podle normy ČSN 75 7143 Jakost vody pro závlahu. Zavlažovací systémy na odpadní vodu se svou konstrukcí i investičními náklady velice podobají těm na vodu čistou.

4.3.1 DĚLENÍ A DRUHY ZAVLAŽOVACÍCH SYSTÉMŮ

Podle ustanovení § 56 vodního zákona a prováděcí vyhlášky č. 225/2002 Sb., o podrobném vymezení staveb k vodohospodářským melioracím pozemků a jejich částí a způsobu rozsahu péče o ně se jednotlivé druhy závlahových vod dopravují a rozvádějí.

²² CASTRO-DEL CAMPO, Nohelia, Célida MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ a Cristóbal CHAIDEZ. *Occurrence and Survival of Pathogenic Microorganisms in Irrigation Water* [online]. Culiacán, México, 2012 [cit. 2018-05-13].

²³Zasolování půdy (Půda, eAGRI). [online]. Copyright © 2009 [cit. 31.03.2018]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/zasolovani-pudy/>

- 1) hlavními závlahovými zařízeními, která slouží k dopravě závlahových vod k místům jejich předání do podrobných závlahových zařízení,
- 2) podrobnými závlahovými zařízeními, která slouží k rozvodu závlahových vod po vlastních zemědělských pozemcích a zatravněných pozemcích.

Hlavní závlahová zařízení jsou soubor objektů a zařízení, a to zejména odběrné objekty, nádrže, čerpací stanice, otevřené kanály včetně objektů na nich, kryté přivaděče včetně objektů na nich, závlahová trubní síť pro přívod závlahové vody, vzdušníky, kalníky, výtlačky, hydranty, armaturové šachtice, zpevněné manipulační plochy, cesty sloužící výhradně pro závlahový provoz a další.

Podrobné závlahové zařízení je soubor objektů a zařízení, a to především otevřené příkopy, přenosné potrubí a armatury na něm, jako jsou postřikovače, pásové zavlažovače, širokozáběrové zavlažovací stroje, zavlažovací hadice s kapkovači a další, kterými je závlaha vlastních pozemků realizována způsobem jako postřikem, podmokem brázdovým nebo drenážním, přeronom, výtopou nebo jiným způsobem jako je kapkový, bodový nebo podpovrchový.²⁴

DĚLENÍ DOPLŇKOVÝCH ZÁVLAH:

ZÁVLAHA POSTŘIKEM

Je nejvíce podobá přirozenému dešti. Až 99 % zavlažovaných ploch v České republice je zavlažováno postřikem. K hlavním výhodám závlahy postřikem patří nižší pořizovací náklady, také nepřekáží mechanizaci při obdělávání a je vhodná pro téměř všechny plodiny. Její provedení je zcela mechanizováno a automaticky řízeno. Nevýhodou tohoto způsobu závlahy jsou vyšší nároky na energii a tlak, větší spotřeba vody o 70 až 100 %, a tedy i požadavek na vydatnější zdroj vody.

²⁴ Závlahy a jejich perspektiva: sborník příspěvků z mezinárodní konference : Mikulov 18.-19.3.2015. Praha: [Český hydrometeorologický ústav], 2015. ISBN 978-80-87577-47-9.

•Přenosná rychlospojková potrubí s postřikovači

Používají se jako závlaha menších, svažitéjších nebo nepravidelných ploch a na místech, kde není potřeba během sezóny přemísťovat potrubí. Jako materiál se používají svařované ocelové pozinkované trubky nebo lehčí slitiny hliníku.



Obrázek 1 - Potrubí s rychlospojkami (HYÁNKOVÁ, Eva. *Závlahy 2. přednáška: Doplnková voda.*)

•Stabilní potrubí s postřikovači

Není příliš využíváno, na pozemku působí jako omezující prvek.

•Závlahové stroje

Pojízdné dálkoproudé postřikovače

Jedná se o velký otočný postřikovač, který je osazen na podvozku taženém traktorem, nebo je osazen přímo na traktoru.

Jako zdroj vody je otevřený závlahový kanál, nebo tlakový trubní rozvod (nizkotlaký). Tlak vody se čerpadlem zvyšuje na provozní tlak, požadovaný pro postřikovač 0,5 – 1,6 MP. Závlaha statická nebo za pohybu zařízení. Dostřik závisí na průměru hlavní hubice a na provozním tlaku.

Valivá potrubí, vlečená potrubí na kolech

Přenosné potrubí, spojené zesílenými rychlospojkami, tvoří trubní linku, na ni osazena kola (potrubí tvoří osu kol). Trubní linka připojena

hadicí k hydrantu, hnací jednotka benzínový motor či hydromotor ve středu linky.

Vlečná potrubí na kolech

Konstrukčně jsou velmi podobná valivým potrubím. Jsou sestavena z rychlospojkových trubek a mají kolové či saňové podvozky. Přemísťování je snadné a rychlé nejčastěji traktorem či navijákem ve směru podélné osy, případně i šikmo. Při přemísťování na větší vzdálenosti je nutná demontáž potrubí. Průměr kol bývá 0,2 – 0,6 m, délka linky může být až 400 m.

Konzolové a mostové zavlažovače

Potrubí s postřikovači či dýzami zavěšenými na příhradové konstrukci, odběr vody je ze závlahového kanálu, kolem něhož projíždí na pás. podvozku s pohonem a čerpacím agregátem.

Potrubí na podvozcích s přímočarým pohybem – lineární



Obrázek 2 - Potrubí na podvozcích s lineárním pohybem (HYÁNKOVÁ, Eva. Závlahy 3. přednáška: Závlaha zemědělských ploch postřikem.)

Potrubí na podvozcích s pohybem do kruhu – pivotové zavlažovací stroje



Obrázek 3 - Potrubí na podvozcích s pohybem do kruhu (www.chiraharit.com)

Pásové zavlažovače

U nás jsou to nejrozšířenější zavlažovací stroje. Používají se na závlahu polních i speciálních plodin a zeleniny. Pásový zavlažovač se skládá z kolového podvozku, na něm je upevněna cívka s navinutým polyethylenovým potrubím DN 25–140 mm, délky 50–600 m. Na konci se nachází velký postřikovač na saňovém či kolovém podvozku, nebo konzola s menšími postřikovači.



Obrázek 4 - Pásový zavlažovač (HYÁNKOVÁ, Eva. *Závlahy 2. přednáška: Doplnková voda.*)

LOKALIZOVANÉ ZÁVLAHY

Hlavní výhodou lokalizovaných závlah je jistě úspora vody, která činí 30–50 % u bodové a až 70 % u kapkové, tímto způsobem závlahy lze také zajistit přesné dávkování – nízké průtoky, není potřeba vysoký provozní tlak, z čehož plynou úspory energie, trubního materiálu, armatur i tvarovek.

Použití kromě bodové závlahy je možné i na větších svazích bez nebezpečí eroze půdy. Takto zavlažované rostliny jsou také méně náchylné na napadení plodin plísněmi, houbami a škůdci, jelikož nedochází k navlhčení listů. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a také větší nároky na kvalitu vody, vždy je nutná minimálně dvoustupňová filtrace.

- **Bodová**

Bodový přívod vody přímo k rostlině, má vyšší intenzitu závlahy oproti kapkové.

- **Mikropostřik**

Jedná se o potrubí o malých DN, které je opatřeno mikropostřikovači.

- **Kapková**

Umístění kapkovačů závisí na kořenové zóně rostliny, druhu a hydraulické vodivosti půdy a na sklonu terénu.



Obrázek 5 - Kapková závlaha (HYÁNKOVÁ, Eva. *Závlahy 2. přednáška: Doplňková voda.*)

GRAVITAČNÍ ZÁVLAHY

- **Brázdový podmok**

Voda se k zavlažované ploše přivádí otevřenými kanály, beztlakým nebo nízkotlakým potrubím. K výhodám brázdového podmoku patří možnost závlahy větším množstvím vody, závlaha je rovnoměrná, vítr zde nehraje roli a dochází k úspoře energie. Nevýhodou je velká spotřeba vody u propustných půd.



Obrázek 6 - Brázdový podmok (HYÁNKOVÁ, Eva. *Závlahy 3. přednáška: Závlaha zemědělských ploch postřikem.*)

- **Přeron**

Vzdutím vody pomocí stavidel dojde v hlavním kanálu k přelití přes upravenou korunu. Voda protéká v tenké vrstvě 3–7 cm svažitou plochou, kde se vsakuje a zavlažuje ji. Používá se při závlaze luk a pastvin, je nevhodný na polní plodiny, jelikož porušuje půdní strukturu. Dělí se na pásový, hřbetinový a svažinový přeron.



Obrázek 7 - Závlaha přeronem (www.uwyoextension.org)

- **Výtopa**

Při závlaze výtopou dojde k souvislému zatopení plochy vymezené hrázkami ve vrstvě 15–30 cm. Rizikem tohoto způsobu závlahy je porušení půdní struktury, přesycení půdy vodou nebo zasolení půdy. V České republice se používá na závlahu luk, ve světě pak jako závlaha rýžových polí například ve Vietnamu nebo v Peru. Používá se také jako likvidace odpadních vod na filtračních polích.²⁵



Obrázek 8 - Závlaha výtopou na rýžových polích (www.theculturetrip.com/)

²⁵ HYÁNKOVÁ, Eva. *Závlahy 2. přednáška: Doplňková voda* [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-05-13]. Vysoké učení technické v Brně.

4.4 ZASAKOVÁNÍ

Zdroje podzemní vody jsou jedinečným zdrojem kvalitní pitné vody. V ČR tvoří odběry podzemních vod více než 47 % z celkového množství (2009, Zpráva o stavu vodního hospodářství). Protože se podzemní vody nachází pod zemským povrchem, často dochází k mylným představám o jejich minimální zranitelnosti vůči vnějším vlivům. Stále častěji čelíme problémům snižujícího se množství podzemních vod, ale také jejich zhoršující se jakosti. Jedním z vlivů, působících nepříznivě na stav podzemních vod, jsou komunální zdroje znečištění, resp. jejich nevyhovující nebo zcela chybějící infrastruktura v řídce osídlených oblastech. Pokud již ke znečištění podzemních vod dojde, náprava stavu je dlouhodobou záležitostí a pozitivní výsledek není v mnoha případech jistý. Proto by měla být učiněna taková opatření, která by jejich znečištění v co největší míře zabránila. V roce 2010 novela zákona č. 254/2001 Sb., dala zmocněním vznik nařízení vlády č. 416/2010 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Toto nařízení je jedním z opatření proti znečištění podzemních vod pocházejícího z individuálních zdrojů znečištění jako jsou jednotlivé stavby pro bydlení a individuální rekreaci a jednotlivých staveb poskytujících služby.

Nepřímé vypouštění do vod podzemních je vypouštění, kdy odpadní voda protéká skrze půdní nebo horninové prostředí do podzemních vod. Toto půdní nebo horninové prostředí se může ve svých vlastnostech značně lišit. Zásadní a důležitou charakteristikou jsou zejména propustnost prostředí a úroveň hladiny podzemních vod. Odpadní voda a látky v ní obsažené mohou jakost podzemních vod významně ovlivnit a náprava je často nemožná nebo finančně a časově náročná. Osoba s odbornou způsobilostí posoudí, zda je daná lokalita vhodná k takovému vypouštění či nikoliv. V rámci předběžné opatrnosti se předpokládá, že vypouštěním odpadních vod do půdních nebo horninových vrstev dochází vždy k jejich průsaku do vod podzemních. Případný opak je třeba doložit vyjádřením osoby s odbornou způsobilostí.

4.4.1 NÁVRH VSAKOVACÍHO PRVKU

U návrhu vsakovacího prvku se nejdříve popíše vsakovací prvek, uvede se dlouhodobě přípustná hydraulická a látková zatížitelnost vsakovacího prvku a uvede se období, ve kterém má být vsakovací prvek v provozu, včetně případných sezónních výkyvů. Uvedou se návrhové hodnoty hydraulického a látkového zatížení vsakovacího prvku. Specifikuje se místo průniku odpadních vod do horninového prostředí. V případě posuzování zneškodňování odpadní vody s využitím zemního infiltračního systému, konstruovaného podle ČSN CEN/TR 12566-2, lze získat relevantní informace odpovídající obsahu Přílohy A (Předběžná hlediska na místo osazení zemního infiltračního systému) a Přílohy B (Hydrogeologický průzkum) této normy z projektové dokumentace tohoto infiltračního systému.

Existuje několik možností, jak vypouštět odpadní vody do vod podzemních. Nejčastější jsou infiltrační systémy nebo zasakovací jámy. Za vypouštění odpadních vod do vod podzemních však musíme považovat také jejich rozstřík na povrch.

4.4.2 VSAKOVACÍ PRVKY

Vody, které projdou zemním infiltračním systémem, jsou z tohoto systému vypouštěny přímo do půdy nebo horninového prostředí. Většinou se jedná o systém, který rozvádí vyčištěnou odpadní vodu do půdy skrze infiltrační lože, násyp nebo vsakovací příkop. Projektování těchto infiltračních systémů probíhá zpravidla v souladu s ČSN CEN/TR 12566-2: Zemní infiltrační systémy a ČSN 75 6402: Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel, která v kapitole 12.4 pojednává o vsakování vyčištěných odpadních vod v závislosti na místních podmínkách, lze však volit i jiné varianty technického řešení vsakovacího prvku.

Stavba čistírny odpadních vod (§ 55 odst. 1 písm. c)) a stavba vsakovacího prvku (§ 55 odst. 1 písm. l)) jsou jako provedení vodního díla podle § 15 vodního zákona předmětem stavebního povolení. Nezbytným podkladem je projektová dokumentace k tomuto vodnímu dílu. Je-li předčištěná odpadní voda za zařízením akumulována například v jímce, je nutno na ni pohlížet jako na příslušenství stavby hlavní. Existence tohoto příslušenství nemá vliv na povinnost mít povolení k nakládání s vodami.

Nezbytným podkladem pro vydání povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních je vyjádření osoby s odbornou způsobilostí.

4.4.3 VYJÁDŘENÍ OSOBY S ODBORNOU ZPŮSOBILOSTÍ

Cílem vyjádření hydrogeologa je posoudit, zda vypouštěná odpadní nebo vyčištěná voda může ohrozit, případně do jaké míry může ovlivnit, jakost podzemních vod. Tento vliv může být definován jakostí vypouštěných odpadních vod, ale také typem vypouštěcího zařízení. Na základě potřebných informací hydrogeolog vyjádří souhlasné, podmíněně souhlasné nebo nesouhlasné stanovisko s navrženým způsobem vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Jinými slovy hydrogeolog „certifikuje“ přírodní prostředí v místě vypouštění jako dostatečné k čištění vypouštěných odpadních vod tak, aby nebyla ohrožena jakost těchto vod.²⁶

²⁶ *METODICKÝ POKYN: odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k vypouštění odpadních vod do vod podzemních.* In: . Ministerstvo životního prostředí, 2010.

5 PROBLEMATIKA VE SVĚTĚ

5.1 LEGISLATIVA EVROPSKÉ UNIE

V Evropě v současné době neexistují žádné pokyny nebo nařízení na úrovni Evropské unie. Nicméně je třeba při tvorbě právních předpisů zohlednit několik směrnic o životním prostředí upravujících budoucí opětovné použití vody na úrovni EU. Mezi těmito směrnicemi je článek 12 směrnice o čištění městských odpadních vod (91/271 / EHS) a požaduje, aby "upravená odpadní voda byla v případě potřeby opětovně používána" a "Způsoby zneškodňování minimalizují nepříznivé účinky na životní prostředí" s cílem ochrany životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění odpadních vod. Navzdory nedostatku kritérií opětovného použití vody na úrovni EU několik členských států a EU autonomní regiony vytvořily vlastní legislativní rámce, předpisy nebo pokyny pro aplikace pro opětovné použití vody.²⁷

5.2 METODIKY WHO

Metodiky WHO vydává Světová zdravotnická organizace. Jsou integrovaným preventivním řídicím rámcem pro maximalizaci veřejného zdraví a přínosů odpadních vod a využití šedé vody v zemědělství a akvakultuře.

Důležitým rysem těchto pokynů je, že používají rámec pro řízení rizik, spíše než jen spoléhat na testování po ošetření jako podklad pro řízení regenerace vody. Při recyklaci vody je nezbytné chránit zdraví veřejnosti a životní prostředí, přístup k řízení rizik je nejlepším způsobem, jak toho dosáhnout. Odpadní vody a šedá voda jsou stále častěji využívány pro zemědělství a akvakulturu v rozvojových i průmyslových zemích.

Zdravotní složka stanovuje úroveň rizika spojenou s každým identifikovaným zdravotním rizikem, definuje úroveň ochrany zdraví, která

²⁷ ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. *Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation* [online]. Luxembourg, 2014 [cit. 2018-05-13]. ISBN 978-92-79-44399-2.

je vyjádřena jako zdravotní cíl. Každé riziko identifikuje opatření na ochranu zdraví, které mohou společně využívat specifický cíl založený na zdraví. Implementační složka zavádí postupy monitorování a hodnocení systému, definuje institucionální a dohledové povinnosti, vyžaduje systémovou dokumentaci a požaduje potvrzení nezávislým dohledem.

5.2.1 ZEMĚDĚLSTVÍ

V zemích nebo regionech, kde převažují špatné hygienické podmínky a neošetřené odpadní vody jsou v zemědělství široce využívány, představují nejčastější zdravotní rizika střevní červy. Další patogeny spojené s fekálním znečištěním způsobují infekce jako jsou tyfus a cholera. V zemích, kde jsou přísnější hygienické normy a je zde zajištěno kvalitnější vyčištění odpadních vod, představují větší zdravotní ohrožení virové onemocnění než ostatní patogeny. To je částečně způsobeno tím, že v důsledku malých rozměrů je viry obtížné odstranit, ale také kvůli odolnosti některých virů a jejich schopnosti způsobit infekci i v nízkých koncentracích.

5.2.2 AKVAKULTURA

Ryby a rostliny žijící v kontaminovaných vodách mohou pasivně přenášet patogeny na svých tělech. Největší riziko pro spotřebitele je pravděpodobně způsobené kontaminací rybího masa během nehygienického zpracování ryb. Nehygienické zpracování ryb může zvýšit úroveň mikrobiální kontaminace až 100x. Nejčastější takto přenášené infekce jsou klonorchíaza, opisthorchiáza, fasciolóza a fasciolopsiáza.²⁸

5.3 SOUČASNÝ STAV VE SVĚTĚ

Mnohem více než v České Republice se touto problematikou zabývají ve světě, kde najdeme země, které nejenže trpí nedostatkem vody na závlahu, ale trpí dokonce nedostatkem pitné vody. Na základě tohoto nedostatku byly v několika zemích světa provedeny výzkumy a následně byla závlaha vyčištěnou odpadní vodou aplikována do praxe.

²⁸ WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Policy and regulatory aspects*. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2006. ISBN 9241546824.

IZRAEL

Tento stát na Blízkém východě začal s recyklováním odpadní vody již v padesátých letech minulého století. Větší průlom pak přišel v sedmdesátých letech, kdy sedm obcí v oblasti Tel Avivu experimentovalo s čerpáním odpadních vod do písčiny dun, asi osm mil jihovýchodně od města. Byl zde využit písek jako přírodní filtr, a takto vyčištěná voda byla následně dopravována dále na jih, kde se dále využívala v zemědělství.

Izrael v současné době recykluje až 90 % odpadní vody, čímž se řadí na první místo na světě, tato voda pokryje zhruba 50 % celkové vody využívané na závlahu. Izrael má více než 500 zařízení na zpracování odpadních vod, z nichž téměř 30 jsou čistírny odpadních vod. K největším čistírnám patří čistírna v oblasti Dan v západním Negevu (120 milionů m³/rok), závod Haifa v údolí Jezreel (37 milionů m³/rok) a čistírna Sorek v Jeruzalémě (23 milionů m³/rok).

Čištění v čistírně odpadních vod Sorek-Refa'im probíhá jako dvoustupňové, kdy voda nejprve projde mechanickým předčištěním, při němž dojde k odloučení makroskopických částic a následně pokračuje na biologický stupeň.

Takto vyčištěná voda je vypouštěna do koryta řeky, odkud je odebírána a využívá se k zavlažování zemědělských plodin a zelených ploch. Kal vyprodukovaný během procesu čištění slouží k výrobě plynu, který je následně využíván jako zdroj elektrické energie. Přibližně 70 % elektřiny potřebné na provoz čistírny je vyrobeno z tohoto plynu. Po úpravě se kal zpracuje do hnojiva, které je využíváno v zemědělství.²⁹

JORDÁNSKO

Jordánské hášimovské království je suchá až polosuchá země s rozlohou přibližně 90 000 km². Počet obyvatel je 6 milionů. Asi 73 % obyvatel žije v městských oblastech soustředěných v severní a střední části Jordánska.

²⁹ Sorek-Refa'im Sewage Treatment Plant - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 31.03.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/sorek-treatment/>

Vodní zdroje závisejí na srážkách, které se rok od roku mění, s největším poklesem mezi říjnem a květnem. Podíl obnovitelných vodních zdrojů na obyvatele činí 145 m³ / obyvatele za rok a Jordánsko je tedy čtvrtou nejchudší zemí s ohledem na vodní zdroje na celém světě. Průměrné roční srážky se v Jordánsku liší, na vrchovinách je to asi 600–400 mm, Jordan Valley 300–50 mm a Desert Area (Badia) 50–200 mm (91.4%).

Využití recyklované vody v Jordánsku bylo umožněno vývojem řádného legislativního a právního základu. Byly zde zavedeny zákony jako první zákon o provozu komunálních kanalizací z roku 1955 a původní normy pro veřejné zdraví, které byly přijaty v roce 1971.

Dnes existuje několik sad standardů a směrnic pro odpadní vodu, kal, půdu a plodiny, které byly odvozeny z práce Úřadu pro vodohospodářství Jordánska a ministerstva vody a zavlažování.

Vlastníci čistíren odpadních vod musí zajistit, aby jakost vyčištěné vody vyhovovala normám a jejímu konečného využití. Musí se provádět požadované laboratorní testy. Provozovatel musí odebírat kompozitní vzorky každé 2 hodiny po dobu 24 hodin podle frekvence uvedené ve standardu. Shromažďování, uchovávání, přeprava a analýza vzorků jsou prováděny standardními metodami pro zkoušení vody a odpadních vod, vydaných společnostmi APHA a federální americkou asociací pro výzkum vody a znečištění.

Norma dále definuje způsob monitorování a hodnoty odpadních vod čistírny, které mají být vypouštěny do vodních toků a spodních vod, nebo mohou být znovu použity v povolených aspektech. Norma výslovně zakazuje přímou spotřebu regenerované vody pro zavlažování plodin (zeleniny), které jsou konzumovány nevařené.

I když v Jordánsku bylo dosaženo značného pokroku v oblasti zákonů a standardů pro opětovné využití odpadních vod, kritická situace v oblasti vody naznačuje potřebu dalšího vývoje standardů pro opětovné použití odpadních vod a souvisejících zákonů. Vzhledem k očekávanému rychlému růstu zpracovaných odpadních vod bude nutné, aby Jordánsko rozšířilo

opětovné využívání odpadních vod v zemědělství i na recyklaci vod průmyslových a domácích.³⁰

As-Samra čistírna odpadních vod s maximálním průtokem 840 000 m³ denně a průměrným průtokem pře strojní vybavení 267 000 m³ odpadních vod, slouží populaci 2,2 milionu obyvatel v oblastech Amman a Zarqa. Stavba byla započata roku 2003 a dokončena 2008, rozšíření pak proběhlo v letech 2012–2015.

Čistírna byla postavena za účelem zlepšení kvality vody v řece Zerqa, která vypouští většinu své znečištěné vody do přehrady King Talal. Tato vodní nádrž zajišťuje zavlažovací vodu pro údolí Jordan, což způsobovalo velká zdravotní rizika, hlavně pro města Velký Amman a Zarqa, která se nacházejí v povodí této řeky.



Obrázek 9 - AS - Samra ČOV (www.water-technology.net)

³⁰ SEDER, Nayef a Sameer ABDEL-JABBAR. *Safe Use of Treated Wastewater in Agriculture: Jordan Case Study* [online]. Arab Countries Water Utilities Association. 2011 [cit. 2018-05-13].

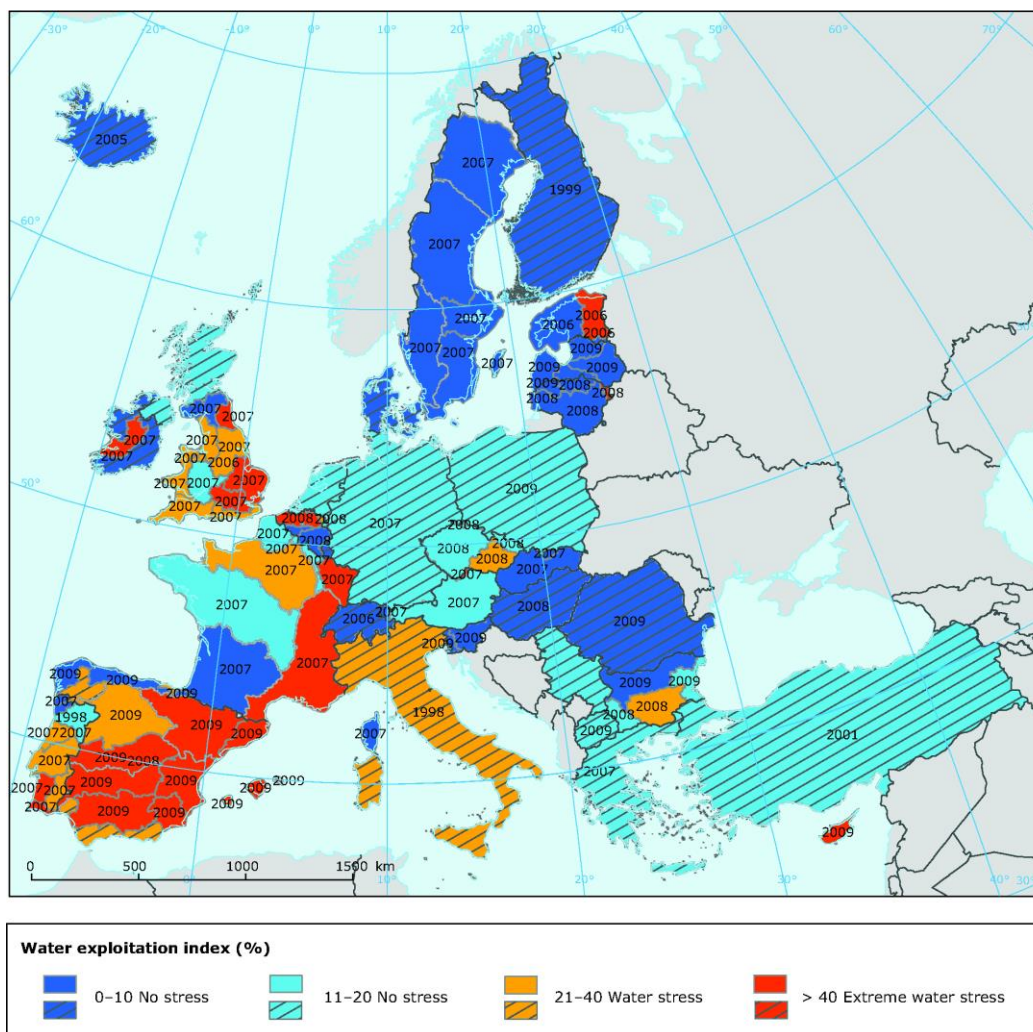
Čistírna se skládá z primární usazovací nádrže, osmi provzdušňovacích nádrží, osmi sekundárních usazovacích nádrží, čtyř anaerobních reaktorů, bioplynových generátorů a hydrogenerátorů a systému řízení zápachu.

Provzdušňující nádrže, sekundární usazovací nádrže a anaerobní nádržky pro reaktory jsou předpjaté s DYWIDAG předpínacích kabelů. Při rozšíření došlo k instalaci dalších dvou čistících linek, kapacita kalového potrubí byla zvětšena o 80 %, do úpravy kalů byl přidán nový mechanický odvodňovací systém. Čistírna získává 80 % svých potřeb elektřiny prostřednictvím kombinace hydraulických turbín a plynových turbín poháněných bioplynem. Zbývajících 20 % pochází z rozvodné sítě.³¹

EVROPA

Evropské vodní zdroje jsou stále více přetěžované, což vede k nedostatku vody a zhoršení její kvality. Toto přetížení se vyznačuje nesouladem poptávky a dostupnosti vodních zdrojů v čase a místě. Světová populace se stále více urbanizuje a soustřeďuje se na pobřeží, kde místní zásoby sladké vody jsou omezené nebo jsou k dispozici pouze s velkým nákladem. Zvýšená poptávka po vodě je způsobena také větším využitím vody pro zemědělskou výrobu potravin v důsledku většího začlenění živočišných a mléčných výrobků do stravy lidí.

³¹ As-Samra Wastewater Treatment Plant, Jordan - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/as-samra-wastewater-treatment-plant-jordan/>



Obrázek 10 – Index využívání vody **ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation [online].**

Nedostatek vody a sucho jsou stále častější a rozšířené v celé Evropě, se staly velkou otázkou. Nejméně 11 % evropské populace a 17 % jejího území bylo dosud postiženo nedostatkem vody. Indikátor nedostatku vody, Index využívání vody (WEI) poskytuje nejširší popis využití vody v porovnání s obecnou dostupností a popisuje riziko, které představuje nadměrné využívání.³²

³² **ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation [online].** Luxembourg, 2014 [cit. 2018-05-13]. ISBN 978-92-79-44399-2.

KYPR

Kypr je třetí největší ostrov ve Středomoří. Nachází se ve východní části Středozemního moře. Ze všech členských států Evropské unie, je Kypr na prvním místě, co se nedostatku vody týče. V současné době dochází k rychlému vyčerpání zásob vody dříve, než dojde k přirozené obnově zdrojů. V mnoha oblastech dochází k rychlému vyčerpání podzemní vody a tím i narušení zvodnělé půdy na pobřeží. Dostatek vody pro rozšíření například turistických odvětví při zachování zemědělského sektoru, se stává kritický problém. Po celá desetiletí je vodní hospodářství na Kypru charakterizované projekty soustředícími se v oblasti hospodaření a šetření s dešťovou vodou, projekt „Not a Drop of Water to the Sea,“ neboli zadržování dešťové vody v retenčních nádržích. Kyperská politika se od šedesátých let zabývá maximální zachycení dešťového odtoku. Kapacita retenční nádrže se v průběhu let se zvýšila z 6 000 000 m³ na 300 000 000 m³. V roce 2008 po sérii suchých let, hladina nádrže klesla na nebývalé nízkou úroveň a byla nutná dodávky vody a dovoz vody z Řecka. Důsledkem suchých let byl také rozvoj odsolovacích technologií, v současné době pokryje odsolování mořské vody přibližně 65 % poptávky.

V roce 2010 začala výstavba největší kyperské čistírny odpadních vod Nicosia, stavba byla dokončena a uvedena do provozu v roce 2014. Čistírna bude schopna zpracovávat průměrně 30 000 m³ / den a slouží oběma komunitám obývajícím Kypr: Turkům i Řekům. Technologie membránového bioreaktoru používá fyzikální, chemické a organické procesy k odstraňování znečištění z odpadních vod. Čistírna výrazně přispěla ke snížení znečištění řeky Pedieos. Vyčištěná voda dosahuje dostatečné kvality a splňuje požadované normy, aby mohla být použita k zavlažování. Až 10 000 000 m³ zpracované vody za rok je znovu využito k zavlažování zemědělských plodin. V závislosti na druhu plodin a strategii střídání plodin lze zavlažovat přibližně 500 hektarů, což snižuje nároky na využívání podzemních vod v oblasti. Každý rok je vyprodukováno téměř 3000 tun suchých pevných látek vhodných pro použití jako přírodní.

Odpadní voda je do čistírny přiváděna gravitačně, potrubím DN1100 a DN100. Hlavním kanálem byla přivedena stávající odbočovací kanalizace do nového přívodu ČOV Mia Milia. Byla vybudována nová přívodní čerpací

stanice, která propojuje přívodní kanalizační potrubí. Odpadní voda ze vstupní čerpací stanice proudí dále na mechanický stupeň čištění. Přítokový kanál a spojovací kanály jsou navrženy tak, aby zabránily usazování pevných látek. Pro snížení provozních problémů se lapák písku a česle nachází v jedné budově. Jako ochrana pro zařízení na odvodnění kalu, biologického stupně čištění a čerpadel slouží dvě řady česlí. Shrabky se dopravují do kontejnerů pomocí šnekových dopravníků a dále se přesouvají na skládku komunálního odpadu.

Čistírna má anaerobní reaktor, díky kterému je schopna vyrábět vlastní elektrickou energii z bioplynu. Provoz zařízení, je tedy částečně poháněn obnovitelnou energií průměrně 10–20%, což snižuje emise CO₂.³³³⁴



Obrázek 11 - Nicosia ČOV (www.cy.undp.org)

³³ New Nicosia Waste Water Treatment Plant | UNDP in Cyprus. UNDP in Cyprus [online]. Copyright © [cit. 09.05.2018]. Dostupné z: <http://www.cy.undp.org/content/cyprus/en/home/operations/projects/partnershipforthefuture/new-nicosia-waste-water-treatment-plant.html>

³⁴ Nicosia Bi-communal Wastewater Treatment Plant - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 09.05.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/nicosiawastewatertre/>

6 PROBLEMATIKA V ČESKÉ REPUBLICE

Městským odpadním vodám, jakožto jednomu ze zdrojů pro závlahy zejména zemědělských plodin a zatravněných pozemků, se začíná v České republice opět věnovat větší pozornost.

V důsledku probíhajících klimatických změn majících za následek zvyšování četnosti i délky období s nedostatkem vláhy z atmosférických srážek, je nezbytné využívat i další zdroje pro závlahy než pouze povrchové a podzemní vody. Odpadní vody jako alternativní zdroj rozhodně mezi ně patří a jejich význam ve světě neustále roste.³⁵

6.1 LEGISLATIVNÍ RÁMEC

Zákon v České republice říká, že: „Přímé vypouštění odpadních vod do podzemních vod je zakázáno. Vypouštění odpadních vod neobsahujících nebezpečné závadné látky nebo zvláště nebezpečné závadné látky (§ 39 odst. 3) z jednotlivých staveb pro bydlení, jednotlivých staveb pro rodinnou rekreaci nebo z jednotlivých staveb poskytujících ubytovací služby, vznikajících převážně jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnostech přes půdní vrstvy do vod podzemních, lze povolit jen výjimečně na základě vyjádření osoby s odbornou způsobilostí k jejich vlivu na jakost podzemních vod, pokud není technicky nebo s ohledem na zájmy chráněné jinými právními předpisy možné jejich vypouštění do vod povrchových nebo do kanalizace pro veřejnou potřebu.“

„Při povolování vypouštění odpadních vod do vod podzemních je vázán ukazateli vyjadřujícími stav podzemní vody v příslušném útvaru podzemní vody, ukazateli a hodnotami přípustného znečištění podzemních vod, ukazateli a přípustnými hodnotami znečištění odpadních vod a náležitostmi a podmínkami povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních, které stanoví vláda nařízením.“

³⁵ Závlahy a jejich perspektiva: sborník příspěvků z mezinárodní konference : Mikulov 18.-19.3.2015. Praha: [Český hydrometeorologický ústav], 2015. ISBN 978-80-87577-47-9.

6.2 VÝZKUMY PROVEDENÉ V ČESKÉ REPUBLICE

6.2.1 MĚLNÍK

Vliv komunálních odpadních vod na výnos a kvalitu plodin byl zkoumán na vyčištěné odpadní vodě z čistírny města Mělník. Tato čistírna odpadních vod pracuje na základě primárního a sekundárního stupně čištění. Čistírna obsahuje anaerobní část pro eliminaci fosforu srážením pomocí síranů, následnou biologickou aktivaci současně denitrifikaci a částečnou aerobní stabilizaci kalu. Odpadní voda v čistírně je z 62 % komunální odpadní voda a 38 % průmyslové odpadní vody.

Průzkum byl proveden v roce 2005, kdy se zavlažovalo vodou vyčištěnou oběma stupni a v letech 2006–2007, kdy se použila voda pouze mechanicky předčištěná. Nádoby o objemu 5 l se naplnily ornou půdou a umístily se do fóliovníku. Lyzimetrické zkoušky byly provedeny v kruhu s nulovým napětím. Dno lyzimetru bylo pokryté geotextílií, překryté říčním pískem o tloušťce vrstvy 0,05 m a velikostí zrna 0,5–1 mm, poté 0,4 m zeminy odebrané z podloží a 0,3 m ornice, to samé bylo použito v nádobových experimentech.

Jako půda byla použita černozem z lokálních zdrojů její pH bylo neutrální, obsah humusu střední a obsah vápníku a fosforu byl vysoký. Obsah draslíku byl také vysoký a množství horčíku bylo dostatečné. Ve všech letech studie byly jako zkoumané rostliny použity listový salát, ředkvičky a mrkev. V lyzimetrických experimentech v letech 2005 a 2007 byly používány rané brambory a v roce 2006 cukrovka. Půdní vlhkost v lyzimetrech byla měřena v hloubkách 0–0,3 m a 0,3–0,6 m pomocí metody TDR pomocí čidel CS 616 a dále byla nepřetržitě zaznamenávána půdní vlhkost pomocí dataloggerů Modulog. Míra zavlažování byla vypočtena tak, aby obsah vody v půdě byl 80 %, zbylých 20 % bylo vyhrazeno pro dešťové vody s cílem minimalizovat riziko vymývání dusičnanů. V každém experimentu bylo provedeno kontrolní zavlažování z místní studny v roce 2005 a vodou z veřejného řádu v letech 2006 a 2007. Výsledné naměřené hodnoty byly kladné, celkový poměr absorpce sodíku byl 1,7 a 2,1, které

jsou nižší než 3, což je maximální přípustná hodnota pro neomezené použití vody pro povrchové zavlažování s ohledem na toxicitu sodíku pro rostliny.

Výsledky experimentů potvrdily potenciální vysoké bakteriální kontaminace plodin zavlažovaných komunálními odpadními vodami, ale nezjistila se jejich kontaminace patogeny. Voda použitá v experimentech nepředstavuje riziko kontaminace plodin patogeny, protože jejich infekční zárodky nebyly ve vzorcích odpadních vod nalezeny. Nicméně, existuje určité riziko kontaminace infekčními chorobami a parazity prostřednictvím spotřeby plodin zavlažovaných vyčištěnou komunální odpadní vodou a je nutné dodržovat hodnoty z normy ČSN 75 7143 Jakost vody na závlahu.³⁶

6.2.2 DRAŽOVICE

Experiment byl proveden v obci Dražovice, která se nachází na jihu Moravy. Přitékající odpadní voda je předčištěna v lapáku písku a následně protéká šterbinovou usazovací nádrží. Na odtoku z této nádrže bylo umístěno ponorné čerpadlo. Denní režim byl nastaven na šest zapnutí, denní množství vody 36 l/den přitéká na povrch modelu vertikálního filtru s vegetací. Vertikální filtr byl zatížen průměrným denním množstvím vody $h_d = 100 \text{ mm/den}$, jeho účinnost ve znečištění CHSK = $(78,66 \pm 5,48) \%$, v parametru $\text{N-NH}_4^+ = (56,46 \pm 18,10) \%$ a $(28,13 \pm 17,75) \%$ v Pc. Účinnosti nezahrnují srážkové úhrny, které pozitivně ovlivňují výsledek. Vyčištěná odpadní voda je následně akumulována v nádobě a připravena s koncentracemi CHSK = $(61,86 \pm 13,00)$, $\text{N-NH}_4^+ = (21,58 \pm 3,97)$ a Pc = $(3,30 \pm 0,49) \text{ mg/l}$. Takto připravená voda byla čerpána na speciální testovací lyzimetry. Detekce vlhkosti probíhala každé 2 hodiny, délka spuštění je v případě potřeby 1 minuta, aby byla dodržena požadovaná vlhkost 35 %, která se po 35 dnech provozu zvýšila na hodnotu 40 %.

Vyčištěnou odpadní vodou byly zavlažovány čtyři lyzimetry s vnitřním průměrem 300 mm, výška každé filtrační náplně je 1670 mm. Ve spodní části pod náplněmi je přechodový filtr o frakci 2/4 mm tloušťky 30–50 mm

³⁶ ZAVADIL, Josef. The Effect of Municipal Wastewater Irrigation on the Yield and Quality of Vegetables and Crops. *Soil & Water Res.* Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague-Zbraslav, Czech Republic, 2009.

a dále hrubý štěr 4/8 mm o tloušťce vrstvy 100 mm. Každý lyzimetr je osazen čidlem půdní vlhkosti Virriblogger. Střed plošného čidla je vždy v hloubce 750 mm pod úrovní terénu a snímá objem půdy o velikosti 20 dm³. Záznam vlhkosti probíhá s intervalem 24 hodin. K vyhledání hydraulických charakteristik byl použit program Hydrus 2D. Pomocí inverzního řešení byly nalezeny všechny parametry, vstupující do řídicí hydraulické rovnice numerického modelu: Q_r [-], Q_s [-], a [1/m], n [-], K_s [m/den], L [-].

Srážkové úhrny byly měřeny v těsné blízkosti lyzimetrů pomocí ručního ombrometru a na základě těchto měření byly přepočítány koncentrace znečištění. Pro účely pozorování šíření znečištění byla použita pouze hodnota amoniakálního dusíku. Množství reálně dodané vyčištěné odpadní vody bylo zaznamenáváno při každém odběru vzorků na vodoměru s ručním odečtem. Odběr vzorků vody probíhal vždy v intervalu 7 dní po dobu 13 týdnů. Vzorek o objemu několik ml byl po odběru převezen zakonzervovaný a v chladícím boxu do laboratoře a bezprostředně poté analyzován. Pro analýzu znečištění po průtoku půdním profilem byly odebírány vždy čtyři filtráty, z každé filtrační kolony jeden vzorek vody. Celkem bylo provedeno 12 pozorování.

Výsledné modelové hodnoty ukazují, že je možné využít vyčištěné odpadní vody na zavlažování, pokud je respektována hodnota polní vodní kapacity. Použití upravené odpadní vody jako zdroj závlahové vody má i své nevýhody, jako jsou kontaminace půdy patogenními organismy, zbytky léčiv nebo těžkých kovů. Tento výzkum byl zaměřen na monitorování a simulaci transportu amoniakálního dusíku během zavlažování vyčištěnou odpadní vodou. Výsledkem provedeného výzkumu bylo zjištěno, že existuje pouze minimální riziko kontaminace podzemních vod amoniakálním dusíkem, pokud je dodrženo stanovené množství závlahové vody.³⁷

³⁷ KRIŠKA, Michal, Miroslava NĚMCOVÁ a Eva HYÁNKOVÁ. The Influence of Ammonia on Groundwater Quality during Wastewater Irrigation. Soil & Water Res. Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, 2018.

6.3 ZÁVLAHA V ZEMĚDĚLSTVÍ

Vlastnosti vody vhodné na závlahu popisuje norma ČSN 75 7143 Jakost vody na závlahu.

K závlaze se smí požívat voda, která negativně neovlivní zdravotní stav lidí a zvířat, výši výnosů a kvalitu plodin, půdní vlastnosti, jakost povrchových a podzemních vod a jiných složek životního prostředí. Na jakost vody se kladou rozdílné požadavky zejména v závislosti na půdních a klimatických podmínkách, způsobu závlahy a druhu pěstovaných plodin.

Z hlediska doplňkových závlah se dělí vody na tyto třídy:

- **I.třída** – vody vhodné k závlaze

Tato voda je použitelná k závlaze všech zemědělských a lesních kultur bez jakéhokoli omezení.

- **II.třída** – vody podmíněně vhodné k závlaze

Voda II.třídy je použitelná k závlaze za předpokladu, že budou pro každou lokalitu stanovena, podle stupně a charakteru znečištění vody, místních podmínek a způsobu závlahy, zvláštní opatření. Je potřeba evidovat zejména závlahové množství a složení závlahové vody pro bilanci vstupu cizorodých látek do půdy.

- **III.třída** – vody nevhodné k závlaze

Tuto vodu můžeme využít pouze po takové úpravě, kterou získá kvalitu vody vhodné nebo podmíněně vhodné na závlahu nebo je použitelná k závlaze podle podmínek pro závlahu odpadními vodami.

Ukazatele jakosti vody se dělí na fyzikální, chemické, biologické a ukazatele radioaktivity.

6.3.1 FYZIKÁLNÍ UKAZATELE

TEPLOTA

Teplota závlahové vody by měla být pokud možno vyšší, než teplota půdy. Jako přiměřenou bereme teplotu 10°C až 15°C v jarních měsících a 15°C až 25°C v letních měsících.

PACH

Přihlíží se zejména k možnému vlivu na tržní kvalitu zavlažovaných plodin a na ovzduší. Z hlediska vlivu na zavlažované kultury závisí nejvýše přípustný stupeň zápachu závlahové vody na druhu kultury, její růstové fázi a na způsobu závlahy. Pokud je tento stupeň překročen je nutno dodržovat pásma hygienické ochrany, aby nedošlo především k omezení obyvatel přilehlých bytových zástaveb.

BARVA

Tento ukazatel se posuzuje podle intenzity zabarvení, původu zabarvení a jako u všech ukazatelů také na druhu kultury a způsobu závlahy. Vody zbarvené průmyslovými barvivy, se klasifikují podle koncentrace barviva, případně podle toxicity a jiných nebezpečných účinků pro lidi a zvířata.

NEROZPUŠTĚNÉ LÁTKY

Posuzují se individuálně podle velikosti, složení a původu, podle způsobu závlahy, používaných stavebních a strojních zařízení, ale i s ohledem na fyzikální vlastnosti zavlažovaných půd. V případě potřeby je třeba jejich obsah snížit. Účinek nerozpuštěných látek na úrodnost půdy je závislý na velikosti částic a na jejich původu a složení a je nutno jej posuzovat v jednotlivých případech zvlášť. Příznivý vliv na úrodnost půdy mohou mít částice pocházející z půd, které jsou bohaté na přístupné živiny. Nepříznivý účinek se může projevit tehdy, když jsou částice z erodovaných ploch, které jsou chudé na živiny.

6.3.2 CHEMICKÉ UKAZATELE

OBSAH ROZPUŠTĚNÝCH LÁTEK

Z chemického hlediska se vhodnost vody na závlahu posuzuje vždy podle obsahu veškerých rozpuštěných látek, chloridů, síranů a poměru Na^+ : ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$). Obsah veškerých rozpuštěných látek se hodnotí jednak podle jejich koncentrace ve vodě a dále s ohledem na půdní vlastnosti a odolnost jednotlivých plodin vůči solím.

Nežádoucí látka v závlahové vodě je každá látka, která při zvoleném druhu závlahové vody, způsobu a režimu zavlažování a daných klimatických, půdních a jiných podmínkách může svým působením nepříznivě ovlivnit výnos a kvalitu pěstovaných plodin, zdraví rostlin, lidí, zvířat a úrodnost půdy.

6.3.3 BIOLOGICKÉ UKAZATELE

OBSAH MAKRO A MIKROORGANISMŮ

Z mikrobiologických ukazatelů se vhodnost vody pro závlahu posuzuje vždy podle počtu kolonie tvořících jednotek koliformních bakterií. Posuzují se také ukazatele mikrobiologické, jako jsou enterokoky a patogenní zárodky, virologické a parazitologické.

6.3.4 UKAZATELE RADIOAKTIVITY

Vhodnost vody pro závlahu se posuzuje z hlediska radioaktivity podle celkové objemové aktivity β , obsahu ^{226}Ra , U a v případě potřeby i podle obsahu dalších radioaktivních prvků. Podle ukazatelů radioaktivit se voda dělí na dvě třídy, vody pro závlahu vhodné a nevhodné.

6.3.5 VEGETAČNÍ ZKOUŠKY

Pokud nelze vhodnost vody pro závlahu bezpečně posoudit z výsledků chemických rozborů, je třeba provést testy toxicity, případně vegetační nádobové testy. Testy toxicity jsou normou doporučeny provádět na rostlinách hořčice bílé, řepky nebo řeřichy.

6.3.6 ZÁSADY PRO NAVRHOVÁNÍ PODLE ČSN 75 7143

ČSN 75 7143 Jakost vody na závlahu říká, že kolem zdrojů podzemních vod, vodárenských toků a vodárenských nádrží je nutno dodržovat ochranná pásma a to i při závlaze vodou I.třídy. Při závlaze vodou II.třídy z hlediska obsahu některých nežádoucích látek, je třeba optimalizovat všechny faktory snižující jejich příjem z půdy rostlinami, například pěstovat rostliny, které je z půdy přijímají jen v malém množství nebo je alespoň nehromadí v konzumních částech. Výška půdní vrstvy, nezbytná pro ochranu podzemních vod závisí na druhu znečištění a druhu půdy. Při provozu závlahy se jakost vody kontroluje v reprezentativním profilu podle potřeby, nejméně jedenkrát týdně, v případě změny jakosti závlahové vody je třeba operativně změnit četnost odběrů, případně zcela vyloučit zavlažování touto vodou, aby zavlažované plodiny nebyly znehodnoceny. Při havarijním znečištění, kdy voda páchne, na hladině jsou ropné látky nebo hynou ryby musí být odběr okamžitě přerušen. Na zavlažovaných pozemcích je třeba průběžně zjišťovat chemické, fyzikální a jiné vlastnosti půdy.³⁸

6.4 ENERGETICKÉ PLODINY

Energetické plodiny jsou cíleně pěstované rostliny pro energetické účely. Energii z těchto rostlin lze získat chemickými nebo bio-chemickými procesy. Základní technologií je spalování, dřevo energetických stromů, rostlinné pelety a doplňují ho další technologie, jako jsou lisování semen řepky olejky (bionafta), fermentace cukrů (alkoholové kvašení cukrové řepy, obilí, kukuřice, pyrolýza suché biomasy a další. Energetické plodiny mohou být využity pro výrobu elektřiny, tepla a mohou sloužit k pohonu vozidel. V tuzemsku má největší podíl výroba tepla, postupně se rozvíjí výroba elektřiny, zejména v souvislosti se závazky ČR v rámci obnovitelných zdrojů energie.

³⁸ ČSN 75 7143 Jakost vody na závlahu. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.

Energetické plodiny včetně rychlerostoucích dřevin dělíme na rostliny celulóзовé, olejnaté a škrobno-cukernaté. Z celulóзовých rostlin se u nás využívají dřeviny, obiloviny, travní porosty, konopí či netradiční ozdobnice čínská. Mezi olejnatými rostlinami dominuje řepka olejka, dále pak slunečnice nebo len. Také pěstování brambor, cukrové řepy a kukuřice (škrobno-cukernaté rostliny) je v České republice velice rozšířené. Největší tradici z energetických plodin má v ČR řepka olejná, zdroj vhodný nejen k pohonu automobilů, ale i k vytápění. Na potenciál ostatních rostlin (např. šťovík, lesknice, kostřava, psineček, ovsík či ozdobnice čínská) se zaměřil výzkum MŽP, jehož cílem je vedle aspektů ekologických také určit ekonomickou dostupnost pěstování energetických plodin.

Bioplyn vzniká zejména při rozkladu živočišných odpadů, ale podíl mají i energetické rostliny – u nás nejběžněji kukuřice. Bioplyn obsahuje především energeticky cenný metan, a proto se jeho výhřevnost pohybuje cca od 20 do 25 MJ/m³. Bioplyn se nejčastěji používá k výrobě elektřiny a tepla (čistírny odpadních vod, bioplynové stanice), ale i jako pohonná látka.³⁹

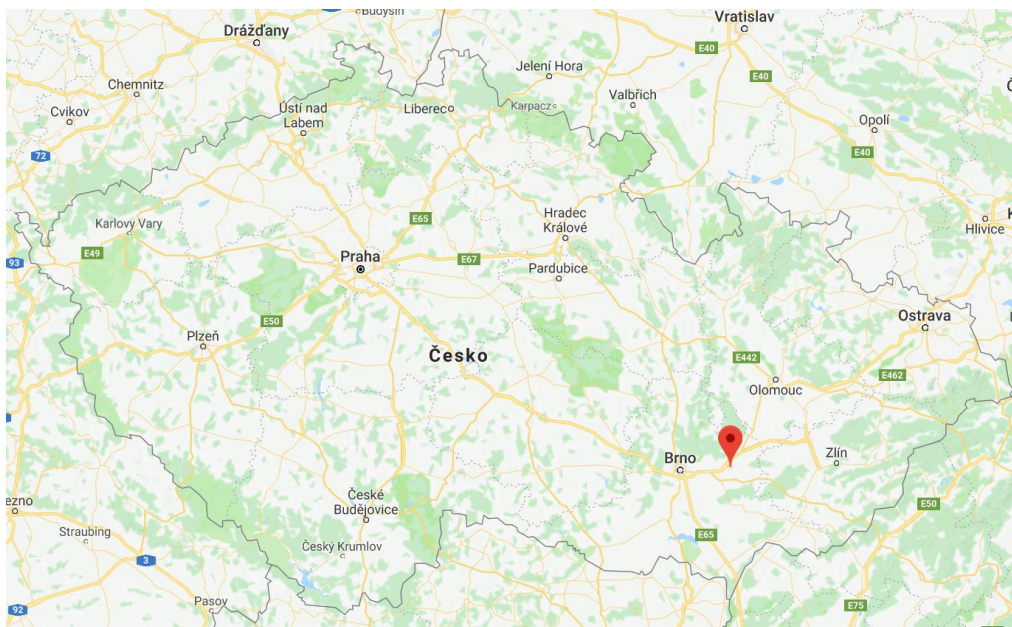
³⁹ Energetické plodiny | Nazeleno.cz. Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2018 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. ISSN 1803 [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energeticke-plodiny.dic>

7 POLOPROVOZNÍ VÝZKUM ZÁVLAHY VYČIŠTĚNOU ODPADNÍ VODOU

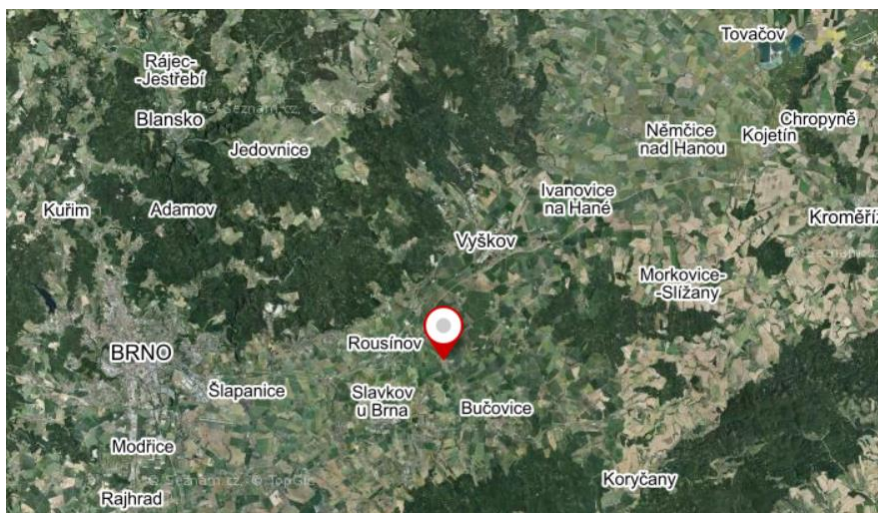
Poloprovozní výzkum je prováděn v rámci specifického vysokoškolského výzkumu na VUT v Brně FAST-S-17-4584 s názvem „Využití vyčištěných odpadních vod pro závlahu a její vliv na kvalitu podzemních vod“.

7.1 LOKALITA

Obec Dražovice se nachází v okrese Vyškov v Jihomoravském kraji. Počet obyvatel k 1.1.2017 je 922. Katastrální rozloha tohoto území je 641 ha. V obci se nachází vodovod i kanalizace.



Obrázek 12 - Situace širších vztahů (www.mapy.cz)



Obrázek 13 -
Přehledná situace
(www.mapy.cz)

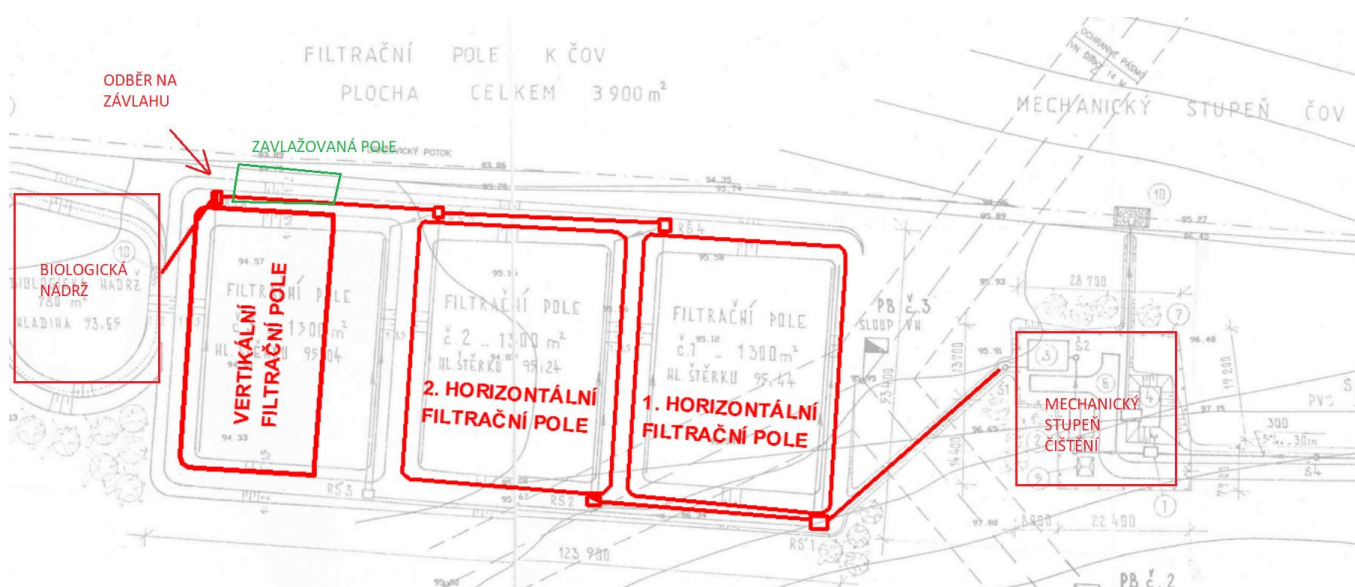
V roce 2000 byla do provozu uvedena kořenová čistírna odpadních vod, která se skládá z mechanického stupně čištění, konkrétně česle, horizontální lapák písku a šterbinová usazovací nádrž a následných dvou horizontálních filtračních polí z nichž v současnosti voda protéká do vertikálního filtračního pole. K osázení propustné výplně kořenových polí byl použit rákos obecný, chrastice rákosovitá a kosatec žlutý.

7.2 VODA POUŽITÁ PRO EXPERIMENT

Voda, používaná na experiment je odebírána z šachty, která je na odtoku z horizontálních polí, jelikož voda na odtoku z vertikálních polí obsahuje již velmi nízké koncentrace CHSK_{Cr} a amoniakálního dusíku a z experimentu by tedy nebyla zřejmá čistící schopnost půdního profilu. Na odtoku z horizontálních polí byly zjištěny tyto průměrné koncentrace CHSK a amoniakálního dusíku – viz tab.4. Naměřené hodnoty byly zaznamenány od 9.12.2016 do 1.5.2018.

	CHSK (mg/l)	N-NH4 (mg/l)
2017	155.78	46.22
2018	182.25	37.42

Tabulka 4 - Koncentrace na odtoku z horizontálních polí

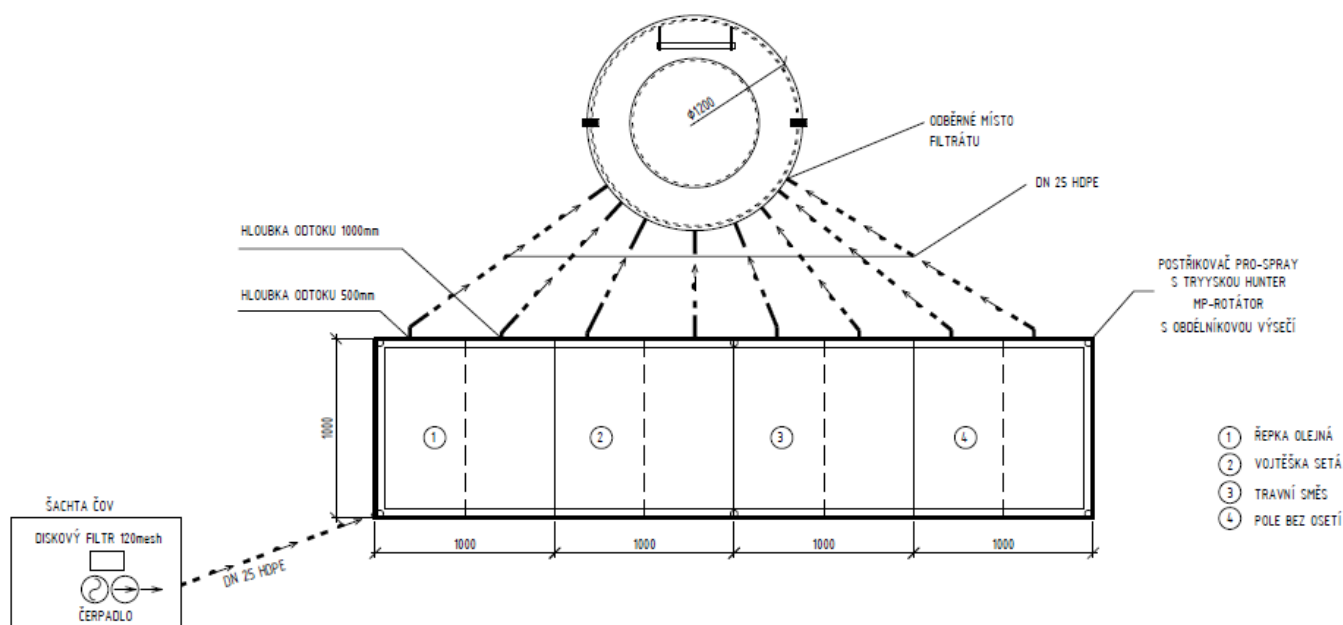


Obrázek 14 - Schéma lokality výzkumu

7.3 METODIKA EXPERIMENTU

7.3.1 POPIS ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

Experiment je prováděn na zkušebním poli o velikosti 1 x 4 m rozděleném na čtyři části o stejné ploše 1 x 1 m. Každá část je oseta zvlášť viz schéma, zleva řepka olejná, vojtěška setá, travní směs a pole bez osetí.



Obrázek 15 - Schéma experimentu

V těsné blízkosti experimentálního pole je osazena plastová vodoměrná šachta ASIO AS – VODO kruhového půdorysu o průměru 1200 mm. Ve vodoměrné šachtě je navrtáno osm vtokových otvorů, jež budou použity pro odběr vzorků. Do těchto otvorů jsou napojena potrubí se sběrných ploch, a to vždy z hloubky cca 50 a 100 cm z každé zkušební plochy.



Obrázek 16 - Vodoměrná šachta (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)

Tato potrubí DN25 HDPE, která jsou vyspádována směrem k vodoměrné šachtě, do potrubí je vždy zaústěna sběrná folie s vrstvou písku pro lepší sběr filtrátu.



Obrázek 17 - Uložení potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)

Nátok do potrubí, které slouží k odběru filtrátu je umístěn ve vrstvě kačírku, aby nedocházelo zanášení potrubí částčkami zeminy.



Obrázek 18 - Detail nátoku do potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D)

Filtrát je z experimentálního pole odváděn potrubím, o průměru 25 mm, které je z vysokohustotního polyethylenu. Odběr filtrátu je z každé části pole uskutečněn v hloubce 0,5 m a 1 m.

7.3.2 POPIS MĚŘENÍ

Závlahová voda je odebírána z šachty, která se nachází na odtoku z horizontálních polí. V šachtě je pomocí ponorného čerpadla s časovým spínačem čerpána přes diskový filtr 120 mesh a dále do potrubí DN25 HDPE na zkušební pole. Na potrubí byly osazeny postřikovače PRO – SPRAY s tryskou HUNTER MP – ROTÁTOR s obdélníkovou výsečí.



Obrázek 19 - Detail postřikovače, Rozvod závlahového potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)

Během experimentu jsou zaznamenávány veškeré srážky na nejbližší srážkoměrné stanici, aby mohly být zahrnuty do výpočtů. Vzorky jsou odebírány jak z šachty na odtoku z horizontálních polí, tj. na vstupu na experimentální plochy, tak po průtoku vody přes půdní profil ve vodoměrné šachtě. Zjišťované parametry ve vzorcích jsou chemická spotřeba kyslíku a koncentrace amoniakálního dusíku. Rozbor vzorků se provádí s využitím spektrofotometru.



Obrázek 20 - Skutečné provedení (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)

7.3.3 ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

Zpracování výsledků bude provedeno v programu Hydrus 2D. Modelovací prostředí tohoto programu slouží pro analýzu průtoku vody a transportu rozpuštěných látek v proměnlivých nasycených porézních médiích. Závěrem experimentu bude vyhodnoceno, v jaké hloubce půdního profilu je dosaženo potřebného odstranění zbytkových koncentrací CHSK a amoniakálního dusíku, aby nedocházelo k negativnímu ovlivnění kvality podzemní vody.

K rozboru výsledků v současné době ještě nedošlo, vlivem časové prodlevy při osetí jsou technické plodiny teprve ve stádiu vzrůstání a k odběru vzorků filtrátu dojde až bude na experimentálním poli souvislý porost.

8 ZÁVĚR

Předmětem mé bakalářské práce bylo celkové zhodnocení možností využití vyčištěné odpadní vody jako alternativního zdroje vody pro závlahu zemědělských nebo energetických plodin v České republice a ve světě. Větší část se zabývá rešerší na toto téma, kde jsou rozebrány odpadní vody, jednotlivé způsoby čištění a druhy zavlažování. Dále je popsán legislativní rámec problematiky zavlažování vyčištěnou odpadní vodou. V bakalářské práci jsou zmíněny příklady výzkumů provedených v České republice a příklady již plně fungujících systému ve světě konkrétně v Izraeli, Jordánsku a na Kypru.

Praktická část práce byla pak věnována experimentu na zkušební lokalitě v Dražovicích, kde je v rámci pokusu zavlažováno pole vyčištěnou odpadní vodou z kořenové čistírny odpadních vod. Jednotlivá pole jsou oseta technickými plodinami jako jsou řepka olejná, vojtěška setá, travní směs a jedno kontrolní pole bez osetí.

Vlivem časové prodlevy při osetí nedošlo v současné době k dostatečnému vzrůstu plodin, není tedy ze zkušební lokality takové množství dat, jako bylo původně předpokládáno a v kapitole 7.2 Vyčištěné vody z ČOV nejsou získána data z průtoku půdním profilem, ale jsou známy pouze koncentrace na odtoku z horizontálních polí. Rozbory filtrátu a zpracování výsledků bude předmětem dalšího výzkumu.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Drought | World Meteorological Organization. [online]. Copyright © 2018 World Meteorological Organization [cit. 21.05.2018]. Dostupné z: <https://public.wmo.int/en/our-mandate/water/drought>
- [2] *A Global Tour of 7 Recent Droughts* | World Resources Institute. World Resources Institute | Making Big Ideas Happen [online]. Dostupné z: <http://www.wri.org/blog/2015/06/global-tour-7-recent-droughts>
- [3] Zákon č. 254/2001 Sb.: Ochrana jakosti vod § 38 [online]. In: . 2001 [cit. 2018-05-13]. DOI: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.
- [4] ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [5] ŽABIČKA, Zdeněk a Jakub VRÁNA. Zdravotnětechnické instalace. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-139-7.
- [6] ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [7] ŽABIČKA, Zdeněk a Jakub VRÁNA. Zdravotnětechnické instalace. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-139-7.
- [8] (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)
- [9] Nařízení vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2015-401#f5732569>
- [10] Nařízení vlády č. 57/2016 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [cit. 13. 5. 2018]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-57#f5752816>
- [11] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. *Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [12] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ. Vysoké učení technické v Brně, 2015.

- [13] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [14] (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 2 ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)
- [15] Domovní čističky odpadních vod. Domovní čističky odpadních vod [online]. Copyright © 2012, COMPNET [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <http://www.usbf.cz/>
- [16] Septik, septiky, plastové nádrže | ASIO.cz. Čistírny odpadních vod (ČOV), úprava vody a čištění vzduchu | ASIO.cz [online]. Copyright © 2011 [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <http://www.asio.cz/cz/as-pp-septik-er-eo>
- [17] MALÁ, Jitka. CHEMIE A TECHNOLOGIE VODY: MODUL M01 CHEMIE PŘÍRODNÍCH A PITNÝCH VOD. 2016. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] (HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. STOKOVÁNÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD: MODUL 1 STOKOVÁNÍ. Brno, 2006. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ.)
- [19] PITTER, P. Hydrochemie. 4. přepracované vydání. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9
- [20] KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ. Kořenové čistírny odpadních vod: METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ. Vysoké učení technické v Brně, 2015.
- [21] ŠÁLEK, Jan a Václav TLAPÁK. Přírodní způsoby čištění znečištěných povrchových a odpadních vod. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě (ČKAIT) vydalo Informační centrum ČKAIT, 2006. Technická knižnice autorizovaného inženýra a technika. ISBN 80-86769-74-7.
- [22] CASTRO-DEL CAMPO, Nohelia, Célida MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ a Cristóbal CHAIDEZ. *Occurrence and Survival of Pathogenic Microorganisms in Irrigation Water* [online]. Culiacán, México, 2012 [cit. 2018-05-13].
- [23] Zasolování půdy (Půda, eAGRI). [online]. Copyright © 2009 [cit. 31.03.2018]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/zasolovani-pudy/>
- [24] Závlahy a jejich perspektiva: sborník příspěvků z mezinárodní konference : Mikulov 18.-19.3.2015. Praha: [Český hydrometeorologický ústav], 2015. ISBN 978-80-87577-47-9.
- [25] HYÁNKOVÁ, Eva. Závlahy 2. přednáška: Doplnková voda [online]. Brno, 2017 [cit. 2018-05-13]. Vysoké učení technické v Brně.

- [26] METODICKÝ POKYN: odboru ochrany vod Ministerstva životního prostředí k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. In: . Ministerstvo životního prostředí, 2010.
- [27] ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. *Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation* [online]. Luxembourg, 2014 [cit. 2018-05-13]. ISBN 978-92-79-44399-2.
- [28] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Policy and regulatory aspects*. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2006. ISBN 9241546824.
- [29] Sorek-Refa'im Sewage Treatment Plant - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 31.03.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/sorek-treatment/>
- [30] SEDER, Nayef a Sameer ABDEL-JABBAR. *Safe Use of Treated Wastewater in Agriculture: Jordan Case Study* [online]. Arab Countries Water Utilities Association. 2011 [cit. 2018-05-13].
- [31] As-Samra Wastewater Treatment Plant, Jordan - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 13.05.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/as-samra-wastewater-treatment-plant-jordan/>
- [32] ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. *Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation* [online]. Luxembourg, 2014 [cit. 2018-05-13]. ISBN 978-92-79-44399-2.
- [33] New Nicosia Waste Water Treatment Plant | UNDP in Cyprus. UNDP in Cyprus [online]. Copyright © [cit. 09.05.2018]. Dostupné z: <http://www.cy.undp.org/content/cyprus/en/home/operations/projects/partnershipforthefuture/new-nicosia-waste-water-treatment-plant.html>
- [34] Nicosia Bi-communal Wastewater Treatment Plant - Water Technology. Water Technology [online]. Copyright © Copyright 2018 Kable, a trading division of Kable Intelligence Limited. [cit. 09.05.2018]. Dostupné z: <https://www.water-technology.net/projects/nicosiawastewatertre/>
- [35] Závlahy a jejich perspektiva: sborník příspěvků z mezinárodní konference : Mikulov 18.-19.3.2015. Praha: [Český hydrometeorologický ústav], 2015. ISBN 978-80-87577-47-9.
- [36] ZAVADIL, Josef. The Effect of Municipal Wastewater Irrigation on the Yield and Quality of Vegetables and Crops. *Soil & Water Res.* Research Institute for Soil and Water Conservation, Prague-Zbraslav, Czech Republic, 2009.

- [37] KRIŠKA, Michal, Miroslava NĚMCOVÁ a Eva HYÁNKOVÁ. The Influence of Ammonia on Groundwater Quality during Wastewater Irrigation. Soil & Water Res. Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology, Brno, Czech Republic, 2018.
- [38] ČSN 75 7143 *Jakost vody na závlahu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1992.
- [39] Energetické plodiny | Nazeleno.cz. Úspory energie, izolace, zdravý životní styl, biopotraviny, ekologie | Nazeleno.cz [online]. Copyright © 2018 Nazeleno.cz, všechna práva vyhrazena. ISSN 1803 [cit. 15.05.2018]. Dostupné z: <https://www.nazeleno.cz/energeticke-plodiny.dic>

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Potrubí s rychlospojkami (HYÁNKOVÁ, Eva. <i>Závlahy 2. přednáška: Doplnňková voda.</i>)	25
Obrázek 2 - Potrubí na podvozcích s lineárním pohybem (HYÁNKOVÁ, Eva. <i>Závlahy 3. přednáška: Závlaha zemědělských ploch postřikem.</i>)	26
Obrázek 3 - Potrubí na podvozcích s pohybem do kruhu (www.chiraharit.com)	26
Obrázek 4 - Pásový zavlažovač (HYÁNKOVÁ, Eva. <i>Závlahy 2. přednáška: Doplnňková voda.</i>)	27
Obrázek 5 - Kapková závlaha (HYÁNKOVÁ, Eva. <i>Závlahy 2. přednáška: Doplnňková voda.</i>)	28
Obrázek 6 - Brázdový podmok (HYÁNKOVÁ, Eva. <i>Závlahy 3. přednáška: Závlaha zemědělských ploch postřikem.</i>)	28
Obrázek 7 - Závlaha přeronom (www.uwyoextension.org)	29
Obrázek 8 - Závlaha výtopou na rýžových polích (www.theculturetrip.com/)	29
Obrázek 10 - AS - Samra ČOV (www.water-technology.net)	37
Obrázek 11 – Index využívání vody ALCALDE SANZ, Laura a Bernd Manfred GAWLIK. Water Reuse in Europe: Water Reuse in Europe Relevant guidelines, needs for and barriers to innovation [online]	39
Obrázek 12 - Nicosia ČOV (www.cy.undp.org)	41
Obrázek 13 - Situace širších vztahů (www.mapy.cz)	51
Obrázek 14 - Přehledná situace (www.mapy.cz)	51
Obrázek 15 - Schéma lokality výzkumu	52

Obrázek 16 - Schéma experimentu	53
Obrázek 17 - Vodoměrná šachta (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)	53
Obrázek 18 - Uložení potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)	54
Obrázek 19 - Detail nátoku do potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)	54
Obrázek 20 - Detail postřikovače, Rozvod závlahového potrubí (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)	55
Obrázek 22 - Skutečné provedení (Ing. Michal Kriška, Ph.D.)	55

11 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Emisní standardy NV 401/2015 Sb.	13
Tabulka 2 - Emisní standardy NV 57/2016 Sb.	13
Tabulka 3 - Emisní standardy – mikrobiologické znečištění	14
Tabulka 4 - Koncentrace na odtoku z horizontálních polí	52